



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



#### TESIS

### EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO DE UNA VIVIENDA DE ADOBE AISLADA TÉRMICAMENTE CON TOTORA EN LA PROVINCIA DE CHUCUITO – REGIÓN PUNO

PRESENTADA POR:

NATALIO MIRANDA RIVERA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAGÍSTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO D  
E UNA VIVIENDA DE ADOBE AISLADA TÉ  
RMICAMENTE CON TOTORA EN LA PRO  
VINCIA DE CHUCUITO - REGIÓN PUNO**

AUTOR

**NATALIO MIRANDA RIVERA**

RECuento DE PALABRAS

**26733 Words**

RECuento DE CARACTERES

**108894 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**95 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jan 23, 2024 9:39 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jan 23, 2024 9:41 PM GMT-5**

● **14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

Dr. German Belizario Quispe  
DOCENTE - UNA - PUNO



Resumen



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**TESIS**



**EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO DE UNA VIVIENDA DE ADOBE  
AISLADA TÉRMICAMENTE CON TOTORA EN LA PROVINCIA DE  
CHUCUITO – REGIÓN PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**NATALIO MIRANDA RIVERA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGÍSTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:**

**PRESIDENTE**

.....  
Dr. PEDRO ALVARO EDWIN GALLEGOS PASCO

**PRIMER MIEMBRO**

.....  
Dr. TEOFILO DONAIRES FLORES

**SEGUNDO MIEMBRO**

.....  
Dr. EDILBERTO HUAQUISTO RAMOS

**ASESOR DE TESIS**

.....  
Dr. GERMAN BELIZARIO QUISPE

Puno, 12 de enero de 2023

**ÁREA:** Ciencia de la ingeniería

**TEMA:** Confort térmico de una vivienda de adobe en las zonas rurales

**LÍNEA:** Recursos naturales y medio ambiente



## DEDICATORIA

A mi familia: Para mis padres Isidro y María Candelaria, que en vida se dedicaron en mi formación en desarrollo personal. Para mis hermanos por sus inquietudes que me inspiran a la superación permanente. También a mis amigos y colegas de la UNA por sus sugerencias que fortalecen y engrandecen mis deseos de superación.



## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis de la maestría, ha requerido el esfuerzo y dedicación de mi persona, pero no hubiese sido posible su finalización sin la contribución desinteresada de cada una de las personas que a continuación mencionaré y la mayoría de ellos han sido un gran soporte, que me permitieron superar momentos difíciles:

- Primero como profesional en ciencias naturales, doy gracias a Dios por cuidarme, iluminar mi mente, guiar en cada uno de mis pasos, inspirar en cada momento de mi vida y poner en mi camino a las personas que han sido mi soporte en toda la época de estudios e investigación.
- Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano por darme todas las herramientas para realizarme como profesional, también agradezco a las autoridades de la Escuela de Posgrado de esta Universidad, por permitir el desarrollo del programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola, mención: Ingeniería Ambiental, haya tenido un desarrollo regular e ininterrumpido.
- También debo agradecer al Concejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) Banco Mundial (BM), que mediante el Contrato N° 120-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU celebrada con la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, se me brinda con facilitar sus equipos de medición de temperatura para monitoreo y obtención de datos.
- Agradezco a mis profesores por darme las sugerencias que ha sido un impulso para la realización y culminación del presente trabajo. También agradezco a mi asesor Dr. Germán Belizario Quispe por aceptar como asesor y por sus sugerencias.
- Agradezco a mis compañeros de la Maestría, con muchos de ellos hemos de compartir experiencias y desarrollo de trabajos, las que fueron un gran aporte para este proyecto plasmado en esta tesis. Mis sinceros agradecimientos para el personal administrativo del programa, quienes permitieron un desarrollo continuo de las actividades académicas.
- En general agradezco a todas las personas que han contribuido en el desarrollo de esta tesis, sus sugerencias han sido muy necesarias para lograr los objetivos.





## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	19
2.2. Enunciados del problema	19
2.3. Justificación	20
2.4. Objetivos	21
2.4.1. Objetivo general	21
2.4.2. Objetivos específicos	21
2.5. Hipótesis	22
2.5.1. Hipótesis general	22
2.5.2. Hipótesis específicas	22

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	23
3.2. Población	23
3.3. Muestra	23
3.4. Método de investigación	23
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	24
3.5.1. Conductividad térmica de los materiales	24
3.5.1.1. Preparación de las muestras y equipos	24
3.5.1.2. Procedimiento y el principio físico	25
3.5.1.3. Análisis de los resultados	27
3.5.2. Calor específico de los materiales de construcción	27
3.5.2.1. Preparación de muestras, equipos y el principio físico	27
3.5.3. Diseño y construcción de la habitación térmica	29
3.5.3.1. Aislamiento térmico del techo y cielo raso	30
3.5.3.2. Aislamiento térmico de los muros	31
3.5.3.3. Aislamiento térmico de las ventanas	31
3.5.3.4. Aislamiento térmico de las puertas	31
3.5.3.5. Aislamiento térmico de los pisos	32
3.5.4. Temperatura de confort térmico en el interior de la habitación con acondicionamiento térmico	32
3.5.4.1. Utilización de equipos para las mediciones	32
3.5.4.2. Análisis estadístico de resultados	33



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Conductividad térmica de los materiales	34
4.2. Calor específico de los materiales de construcción	39
4.3. Confort térmico en el interior de la habitación	41
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS	73





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Datos experimentales para la determinación de la conductividad térmica del adobe - Puno, 2019	34
2. Procesamiento de datos de la tabla 1 para determinar la conductividad térmica del adobe	35
3. Conductividad térmica del adobe	36
4. Datos experimentales para la determinación de la conductividad térmica de la k'esana - Puno, 2019	36
5. Conductividad térmica de la k'esana	37
6. Conductividad térmica de los materiales de construcción, 2019	38
7. Datos experimentales de temperaturas y las masas para determinar el calor específico de la k'esana, Puno del 2019	39
8. Valores de calor específico de la k'esana - Puno, 2019	40
9. Calor específico de los materiales de construcción - Puno, 2019	40
10. Datos tomados de temperatura durante un día – Puno, 2020	44
11. Datos registrados de temperatura durante tres días – Puno, 2020	48
12. Datos registrados de temperatura durante una semana – Puno, 2020	54
13. Base de datos tomados durante las horas diurnas y nocturnas. Temperaturas de HAT, HSAT, MA. Puno, 2020.	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor $\Delta x$ y área $A$	5
2. Muestras de adobe	25
3. Muestras de k'esana	25
4. Diseño de la vivienda térmica	29
5. Aislamiento del cielo raso	30
6. Aislamiento de muros	31
7. El piso es colocado con materiales de baja conductividad	32
8. Comportamiento de las temperaturas en HAT, HSAT, y MA - Puno, 2020	42
9. Comportamiento de temperaturas durante un día – Puno, 2020	44
10. Comportamiento de temperaturas durante tres días – Puno, 2020	47
11. Comportamiento de temperaturas durante una semana – Puno, 2020	53
12. Inicio de la construcción de la HAT	79
13. En esta imagen se aprecia el techado de la HAT	79
14. La HAT está listo para hacer revestimiento interior	80
15. Colocado de la k'esana al cielo raso dentro de la HAT	80
16. Enlucido del cielo raso y las paredes con yeso dentro de la HAT	81
17. Resultados de ANOVA para la comparación de temperaturas	81
18. La imagen muestra la habitación térmica construida, lista para monitoreo de datos	82



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Tabla de datos	74
2. Figuras y fotografías de la metodología y resultados	79



## ABREVIATURAS

ANOVA	: analysis of variance (análisis de la varianza)
HAT	: Habitación acondicionada térmicamente
HSAT	: Habitación sin acondicionamiento térmico
MA	: Medio ambiente
g	: gramos
kg	: kilogramo
m	: metro
J	: joule
W	: watt
K	: kelvin

## RESUMEN

En la región de Puno, en las zonas altoandinas las viviendas carecen de condiciones confortables que están expuestas a bajas temperaturas y esto afecta la calidad de vida de las personas. El presente trabajo tiene como objetivo de evaluar el confort térmico de una habitación acondicionada térmicamente (HAT), construida con los materiales de la zona alto andina del Perú (Puno). Las propiedades térmicas de los materiales, como del adobe y la k'esana han sido determinados su conductividad térmica y calor específico, estos materiales de construcción utilizados son las adecuadas para que al interior de la HAT se acumule energía calorífica y reduzca el flujo de calor hacia el exterior; obteniendo que la habitación tenga condiciones confortables para los usuarios. La conductividad térmica obtenida para los materiales que se han utilizado en la construcción como del adobe y la k'esana cuyos valores son de  $0.43 \text{ W/m K}$  y  $0.055 \text{ W/m K}$ , estos valores son similares a la conductividad térmica del aire que es  $0.026 \text{ W/m K}$ . El acumulador de calor instalada en la HAT, es construida con k'esana y madera con valores de calor específico de  $2260.38 \text{ J/kg K}$  y  $1700 \text{ J/kg K}$ ; el sistema acumulador mantiene caliente la habitación durante las horas nocturnas. El análisis estadístico de ANOVA, para la variable temperatura, determina que existe una diferencia entre las temperaturas medias registradas al interior de la HAT con respecto a la habitación sin acondicionamiento térmico (HSAT) y medio ambiente, en donde la temperatura de la HAT es mayor que la HSAT.

**Palabras clave:** Confort térmico, conductividad térmica, materiales aislantes temperaturas extremas, vivienda rural.



## ABSTRACT

In the Puno region, in the high Andean areas, homes lack comfortable conditions that are exposed to low temperatures and this affects people's quality of life. The objective of this work is to evaluate the thermal comfort of a thermally conditioned room (HAT), built with materials from the high Andean area of Peru (Puno). The thermal properties of the materials, such as adobe and k'esana, have been determined, their thermal conductivity and specific heat, these construction materials used are appropriate so that heat energy accumulates inside the HAT and reduces the heat flow. outward; ensuring that the room has comfortable conditions for users. The thermal conductivity obtained for the materials that have been used in construction such as adobe and k'esana whose values are 0.43 W/m K and 0.055 W/m K, these values are similar to the thermal conductivity of air, which is 0.026 W/m K. The heat accumulator installed in the HAT is built with k'esana and wood with specific heat values of 2260.38 J/kg K and 1700 J/kg K; The accumulator system keeps the room warm during the night hours. The statistical analysis of ANOVA, for the temperature variable, determines that there is a difference between the average temperatures recorded inside the HAT with respect to the room without thermal conditioning (HSAT) and the environment, where the temperature of the HAT is greater than the HSAT.

**Keywords:** Thermal comfort, thermal conductivity, insulating materials, extreme temperatures, rural housing.

## INTRODUCCIÓN

Las viviendas en el altiplano peruano tienen una particularidad, sin embargo, las condiciones ambientales tienen características propias por presentarse precipitaciones pluviales fuertes e irregulares en los meses de diciembre a marzo, temperaturas mínimas extremas durante los meses mayo a agosto hasta con menos 27 °C durante las noches y vientos en dichos periodos (SENAMHI, 2018). En estas condiciones habitan las poblaciones de los Andes peruanos sobre los 3800 msnm, expuestas a las precipitaciones pluviales, granizadas, nevadas, heladas, fuertes vientos. Las viviendas están construidas inadecuadamente a las condiciones antes expuestas, probablemente por el desconocimiento de las tecnologías que podrían mitigar a estas condiciones, donde los pobladores de la tercera edad y los niños son más vulnerables.

Estas situaciones anómalas presentan una condición negativa para la salud de las personas de tercera edad y niños. De ahí que la necesidad de estudiar los materiales de construcción que tengan mayor masa térmica, que contribuyan a la solución de los problemas de la satisfacción térmica de los materiales. Según MINSA (2015) se ha registrado la mortalidad de 80 niños a consecuencia de las bajas temperaturas y MINSA (2018) reporta 604 personas por neumonía y de estas 400 corresponden a adultos mayores y 72 a niños menores de cinco años y DIRESA de 2015 a 2018 reporta 51 niños fallecidos debido a las bajas temperaturas mínimas extremas en el altiplano.

El problema de las temperaturas mínimas extremas en la región de Puno es cíclico y las consecuencias de este fenómeno climatológico afecta a la salud de las personas. Estos hechos motivan realizar un trabajo de investigación con un soporte científico, para aprovechar eficientemente los recursos naturales de la zona. En el altiplano de Puno, hay enorme cantidad de materiales de construcción ancestral, como el ichu, la chilliwa y la k'esana, pero sino conocemos sus propiedades térmicas, nunca conoceremos el verdadero valor de estos materiales de construcción. Si esta situación continúa sin dar soluciones, los pobladores que habitan en zonas altoandinas continúan en estas condiciones negativas en cuanto a la salud, y viviendas sin condiciones de confort térmico, lo cual causaría pésima calidad de vida. Es necesario plantear las alternativas de solución aprovechando las propiedades térmicas de los materiales de construcción de la zona y aprovechando la alta tasa de la radiación solar presente en el ámbito.



El propósito del trabajo es construir una vivienda con materiales naturales de la zona altoandina y evaluar su confort térmico. Para llevar acabo, primero se determina las propiedades térmicas de los materiales naturales de la zona, como la conductividad térmica y el calor específico, luego se diseña y se construye la vivienda con los materiales que se hizo previamente un análisis experimental en el laboratorio. Posterior a la construcción, en la época de invierno desde mayo a agosto, se hizo monitoreo de las temperaturas internas de la habitación con acondicionamiento térmico y sin acondicionamiento térmico, también se hizo el registro de las temperaturas del medio ambiente circundante. Con estos datos se procede a evaluar el confort térmico de la vivienda, utilizando los paquetes estadísticos.

A continuación, se expone la estructura del trabajo de investigación. En el capítulo I se desarrolla la revisión de literatura: que consta de marco teórico y antecedentes de investigación. En el capítulo II, se presenta el planteamiento del problema: en donde se tiene la identificación del problema, enunciados del problema, justificación, objetivos y las hipótesis. Capítulo III, muestra los materiales y métodos de investigación: en esta parte se menciona el lugar de estudio, la población, muestra, métodos de investigación y descripción detallada de métodos por objetivos específicos. Capítulo IV, en esta parte se presentan los resultados por objetivos específicos y sus discusiones. Por último, se mencionan las conclusiones y recomendaciones.





## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Calor

El calor es una forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o sistemas debido a la diferencia de temperatura entre ellos. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esa transferencia es la transferencia de calor (Cengel, 2007; Serway & Jewett, 2008).

El requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura. La diferencia de temperatura es la fuerza impulsora para la transferencia de calor, precisamente como la diferencia de tensión es la fuerza impulsora para el flujo de corriente eléctrica y la diferencia de presión es la fuerza impulsora para el flujo de fluidos. La velocidad de la transferencia de calor en cierta dirección depende de la magnitud del gradiente de temperatura (la diferencia de temperatura por unidad de longitud o la razón de cambio de la temperatura en esa dirección). A mayor gradiente de temperatura, mayor es la razón de la transferencia de calor (Tipler & Mosca, 2001; Cengel, 2007; Resnick & Halliday, 2001).

##### 1.1.2. Mecanismos de transferencia de calor

En la sección 1.1.1 se definió el calor como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata

de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura (Cengel, 2007; Giancoli, 2006).

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. Enseguida se da una descripción de cada modo ( Serway & Vuille, 2013).

### 1.1.2.1. Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. Por ejemplo, llegará el momento en que una bebida enlatada fría en un cuarto cálido se caliente hasta la temperatura ambiente como resultado de la transferencia de calor por conducción, del cuarto hacia la bebida, a través del aluminio (Cengel, 2007).

Considere una conducción de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor  $\Delta x = L$  y área  $A$ , como se muestra en la figura 1. La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es  $\Delta T = T_2 - T_1$ . La razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir,

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t} = k A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1.1)$$

en donde la constante de proporcionalidad  $k$  de la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite cuando  $\Delta x \rightarrow 0$ , la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial

$$\dot{Q} = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1.2)$$

la cual se llama ley de Fourier de la conducción del calor. Donde,  $dT/dx$  es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama  $T-x$  (también se denomina la razón de cambio de  $T$  con respecto a  $x$ ), en la ubicación  $x$  (Cengel, 2007).

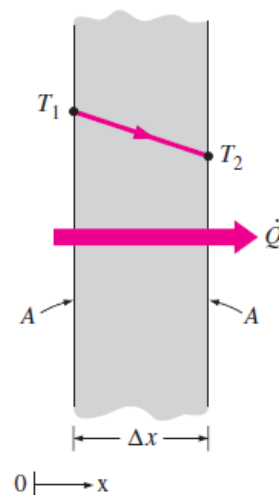


Figura 1. Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor  $\Delta x$  y área  $A$ .

Fuente: Cengel (2007)

### 1.1.2.2. Convección

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. La transferencia de

calor por convección, a menudo denominada simplemente convección, es la transferencia de calor de un lugar a otro por el movimiento de fluidos. La convección suele ser la forma dominante de transferencia de calor en líquidos y gases. Los metales como el cobre y el aluminio tienen conductividad térmica alta. Cuando un fluido se pone en contacto con una superficie sólida a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de energía térmica se denomina transferencia de calor por convección (Holman, 1998).

El proceso de transferencia de calor por convección es directamente proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa mediante la Ley de Newton del enfriamiento, esto es

$$\dot{Q} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad , \quad (W)$$

donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección, cuya unidad de medida es  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$  ,  $A_s$  es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección,  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_\infty$  es la temperatura del fluido que está lo suficientemente alejado de la superficie (Cengel, 2007).

### 1.1.2.3. Radiación

La radiación es la transferencia de energía calorífica por ondas electromagnéticas (infrarrojas) y es muy diferente a la conducción y a la convección. La energía infrarroja viaja en línea recta a través del espacio o el vacío (similar a la luz) y no genera calor hasta que es absorbida. Uno de los ejemplos más importantes de transferencia de calor por radiación es la absorción de radiación solar por la Tierra, seguida de su radiación térmica saliente. Estos procesos determinan la temperatura y el clima de la Tierra (Holman, 1999; Mckelvey, 1980).

La razón de la radiación que emite desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  es dada por la ley de Stefan-Boltzmann, esto es

$$\dot{Q}_{\text{emitida}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad , \quad (\text{W})$$

donde  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ T}_s^4$  es la constante de Stefan-Boltzmann y  $\varepsilon$  es la emisividad de la superficie. El valor de emisividad está dentro del intervalo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , (Welty, 2015; Young & Freedman, 2013).

### 1.1.3. Propiedades térmicas de los materiales

#### 1.1.3.1. Conductividad térmica

Tal como se ha estudiado que los materiales diferentes almacenan calor de forma distinta en cada uno de ellos y se ha establecido la propiedad del calor específico  $c$  como un parámetro que mide la capacidad de un material para almacenar energía calorífica. Por ejemplo, para el agua  $c = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  y para el hierro  $c = 0.45 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , estos valores son obtenidos para la temperatura ambiente, en donde se aprecia que el agua cuya capacidad de almacenamiento es aproximadamente 10 veces más que la del hierro en cada unidad de masa. Análogamente, la conductividad térmica  $k$  es un parámetro que cuantifica la capacidad de un material para conducir el flujo de calor. Por ejemplo, para el agua  $k = 0.607 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  y para el hierro  $k = 80.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , ambos a temperatura ambiente, en donde se aprecia que el hierro conduce el flujo de calor 100 veces más rápido que el agua. Por tanto, se dice que el agua es mala conductora del calor en relación con el hierro, aun cuando el agua es un medio excelente para almacenar energía térmica (Cengel, 2007; Kern, 1999).

Según la ley de Fourier, la ecuación 1.2, la conductividad térmica se define como

$$k = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T} \quad (1.3)$$

donde  $\Delta T = T_1 - T_2$ , la temperatura  $T_1$  es mayor que la temperatura  $T_2$ . En general, la conductividad térmica de un sólido es mayor que la de un líquido, que a su vez mayor que la de un gas (Incropera & DeWitt, 1999)

### 1.1.3.2. Materiales aislantes

Los materiales aislantes se emplean en aquellos casos en que se desea impedir el flujo de calor entre un recinto y su entorno. Se emplea aislantes de baja temperatura en los casos en que el recinto en cuestión se encuentra a una temperatura inferior a la temperatura ambiente y cuando se desea proteger el recinto de ganancia del calor. Se emplea los aislantes de alta temperatura en el caso contrario, cuando se desea impedir que un recinto cuya temperatura es superior a la del ambiente, ceda calor a su entorno (Chapman, 1984).

El material aislante que se utilizará posterior a este trabajo de investigación es la totora, siempre en cuando su conductividad térmica sea baja para aislamiento térmico interior de la vivienda. En donde la temperatura exterior es mucho menor que la de interior, por la noche. Lo cual se menciona según Chapman (1984).

### 1.1.3.3. Calor específico

La cantidad de calor  $Q$  necesaria para elevar la temperatura de una masa  $m$  de cierto material de  $T_1$  a  $T_2$  es proporcional al cambio de temperatura  $\Delta T = T_2 - T_1$  y a la masa  $m$  del material (Young & Freedman, 2009; Baver & Westfall, 2009). Por lo tanto, si a una muestra de una sustancia con masa  $m$  se le transfiere energía  $Q$  y la temperatura de la muestra cambia en  $\Delta T$ , el calor específico de la sustancia es dado por

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} \quad (1.4)$$

Según esta ecuación se concluye que, mientras mayor sea el calor específico de un material, más energía se debe agregar a una masa determinada del material para causar un cambio particular de temperatura ( Serway & Jewett, 2008). Las unidades en SI de calor específico son  $J/(kg \cdot K)$  o  $J/(kg \cdot ^\circ C)$ . El calor específico es característico del tipo de sustancia. En comparación con la mayoría de los materiales comunes el agua tiene un calor específico grande, de  $4186 J/kg \cdot ^\circ C$ . El calor específico es una medida de la capacidad de un

material para almacenar la energía térmica (Cengel, 2007; Wilson *et al.*, 2007).

#### 1.1.3.4. Capacidad térmica volumétrica

La densidad ( $\rho$ ) y calor específico ( $c$ ), estas dos propiedades se usan extensamente en el análisis termodinámico. El producto  $\rho c$  ( $\text{J}/\text{m}^3 \text{K}$ ), normalmente denominado capacidad térmica volumétrica, mide la capacidad de un material para almacenar energía térmica. Puesto que las sustancias de densidades grandes se caracterizan por pequeños calores específicos, muchos sólidos y líquidos son excelentes medios de almacenamiento de energía, tienen capacidades térmicas comparables ( $\rho c > 1 \text{MJ}/\text{m}^3 \text{K}$ ). Sin embargo, los gases debido a sus muy pequeñas densidades, son muy poco adecuados para almacenamiento de energía térmica ( $\rho c \approx 1 \text{kJ}/\text{m}^3 \text{K}$ ) (Incropera & DeWitt, 1999).

#### 1.1.3.5. Difusividad térmica

En el análisis de transferencia de calor, la razón entre la conductividad térmica y capacidad térmica es una importante propiedad denominada difusividad térmica, que tiene unidades de  $\text{m}^2 / \text{s}$  :

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (1.5)$$

Esta ecuación mide la capacidad de un material para conducir la energía térmica en relación con su capacidad para almacenar energía térmica. Los materiales que poseen valores grandes de  $\alpha$  responderán rápidamente a cambios en su medio térmico, mientras que los valores de  $\alpha$  pequeño responderán más lentamente y tardarán más en alcanzar una nueva condición de equilibrio (Incropera & DeWitt, 1999). Por tanto, los materiales que poseen valores grandes de capacidad térmica (mayor capacidad para almacenar energía) y baja conductividad térmica sería un material ideal para las edificaciones.

#### 1.1.4. Confort Térmico

El confort térmico, según lo establecido en la Norma ISO 7730, se describe como "la sensación mental de satisfacción con las condiciones ambientales en términos de temperatura". Givoni (1998) describe el confort térmico como la situación en la que no se experimenta ninguna sensación de molestia o incomodidad debida a la temperatura. Desde una perspectiva cualitativa, el confort térmico se entiende como un estado mental en el que intervienen aspectos subjetivos, y no únicamente como el resultado objetivo de un equilibrio energético entre el cuerpo humano y su entorno (Gómez-Azpeitia et al., 2007). Estos autores mencionan que estas definiciones son ampliamente aceptadas, pero presentan dificultades al intentar cuantificar en términos de parámetros físicos.

##### 1.1.4.1. Factores ambientales del confort térmico o sensación de bienestar térmico

Fanger (1972) estableció que la sensación térmica está influenciada por seis factores principales, que incluyen cuatro variables físicas (temperatura del aire, velocidad del aire, humedad relativa y temperatura media radiante), junto con dos variables personales (aislamiento de la ropa y nivel de actividad, que se refiere a la tasa metabólica).

A continuación, se detallan las cuatro variables o factores ambientales del confort térmico:

**1. Temperatura del aire ( $T_a$ ).** Cuando no se consideran otros factores ambientales como la radiación, la circulación del aire y la humedad relativa, la temperatura se convierte en un factor significativo para evaluar el confort térmico, ya que aproximadamente el 40% de la pérdida de calor del cuerpo ocurre a través de la convección en el espacio interior (Parsons, 2010). Para medir la temperatura en este contexto, se utiliza un termómetro de bulbo seco, por lo que a menudo se denomina temperatura del bulbo seco (DBT).

**2. Temperatura media radiante ( $T_{mr}$ ).** La norma ISO 7730 proporciona la siguiente definición de la temperatura media radiante (TMR): "La temperatura media radiante se refiere a una temperatura uniforme en un espacio imaginario en el cual la cantidad de calor radiante que emana del



cuerpo humano es igual a la cantidad de calor radiante en un entorno real no uniforme" (Parsons, 2010).

**3. Humedad Relativa (HR).** Es la cantidad de humedad presente en una masa de aire en comparación con la máxima cantidad de humedad absoluta que podría contener sin que ocurra condensación, manteniendo las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma típica de describir la humedad en el entorno, y se expresa en porcentaje (%).

**4. Velocidad del viento.** Este factor se considera en los cálculos de la sensación térmica, y se cuantifica en metros por segundo (m/s), utilizando diferentes tipos de instrumentos conocidos como anemómetros.

## 1.2. Antecedentes

En cuanto a los trabajos previos sobre las propiedades térmicas de la totora y otros materiales naturales de las zonas alto andinas es precaria, pero si hay bastante información de trabajos similares del que pretendo realizar. A lo que concierne sobre las viviendas bioclimáticas, también hay trabajos similares, realizadas a nivel global, nacional y local. A continuación, se menciona trabajo se investigaciones realizadas y que puedan ser de gran ayuda para el desarrollo de los objetivos del presente trabajo.

Trabajos de investigación realizadas a nivel global:

Azhary *et al.* ( 2017) realizaron el trabajo sobre la eficiencia energética y propiedades térmicas del compuesto Material Arcilla-paja, han hecho mediciones de la difusividad térmica, la conductividad térmica y la inercia térmica y que los resultados fueron mejores. También hicieron la simulación de un edificio con los datos climatológicos del Sur de Marruecos con el propósito de brindar inercia térmica y la capacidad de confort térmico en el invierno. Similarmente los autores Pennacchio *et al.* (2017) publicaron un trabajo sobre la obtención de paneles de aislamiento sostenible de lana de oveja y cáñamo, son denominadas (Fibras textiles naturales para construcción sostenible). El artículo presenta los resultados de la conductividad térmica, coeficiente de absorción acústica y transmitancia térmica de las mediciones de pared experimentales, para demostrar la efectividad de los paneles como producto aislante para edificios.

El estudio realizado por Lamrani *et al.* (2017), sobre el Estudio experimental de las propiedades térmicas de un nuevo ambiente ecológico con material de construcción a base de cáscaras de maní y yeso. El objetivo del trabajo fue investigar las propiedades térmicas de un nuevo material de construcción que consiste en una mezcla de yeso y cáscaras de maní para usar como materiales aislantes en la construcción. En donde las propiedades se han hecho mediciones, utilizando el método de placa calefactora asimétrica en estado estacionario, el Método asimétrico de placas calientes transitorias y el método flash. El estudio experimental que llevaron a cabo, les permitió determinar la conductividad, la efusividad y la difusividad térmica del material. Los datos experimentales muestran una buena eficiencia y una disminución significativa en la conductividad térmica en comparación con el material de yeso simple. El propósito es obtener compuesto ecológico materiales con un mejor rendimiento térmico, que pueden contribuir a mejorar el confort térmico en construcciones en Marruecos. Los resultados muestran que la densidad del nuevo material no era sustancialmente influenciada por el tamaño de los fragmentos de cáscara de maní. Sin embargo, la conductividad térmica y la difusividad disminuyen de  $0.3W m^{-1} K^{-1}$  y  $3.75 \times 10^{-7} m^2 s^{-1}$  a  $0.14W m^{-1} K^{-1}$  y  $2.11 \times 10^{-7} m^2 s^{-1}$ , respectivamente, de acuerdo con la variación de la fracción de masa de maní de 0 a 20%.

El estudio denominado, revisión de materiales de aislamiento para edificios sostenibles no convencionales. En donde mencionan que el aislamiento de edificios se realiza comúnmente utilizando materiales obtenidos de productos petroquímicos principalmente (poliestireno) o de fuentes naturales procesadas con altos consumos de energía (lanas de vidrio y roca). Estos materiales causan efectos perjudiciales significativos en el medio ambiente principalmente debido a la etapa de producción, y en la etapa de eliminación. La introducción del concepto de “sostenibilidad” en el diseño de edificios, alentó investigaciones destinadas a desarrollar materiales aislantes térmicos y acústicos utilizando materiales reciclados. Algunos de ellos, como el kenaf o la fibra de madera, ya están comercializados, pero su difusión podría mejorarse aún más ya que su rendimiento es similar al de los sintéticos. Otros están actualmente bajo el estudio y su desarrollo está solo en una etapa temprana. El objetivo del artículo es informar sobre el estado de la técnica de la construcción con productos aislantes hechos de materiales naturales o reciclados que no se comercializan o apenas se comercializan. Comparativo de los análisis

se llevaron a cabo considerando en particular las características térmicas en términos de conductividad térmica, calor específico y densidad (Asdrubali *et al.*, 2015).

Recientemente, los materiales basados en materias primas secundarias han sido el foco de atención de las empresas de construcción y de los usuarios. La razón es principalmente por los bajos costos de los materiales, por su fácil fabricación y la aplicación en estructuras de edificios. En respuesta a la necesidad creciente de materiales aislantes y dado el requisito general de sostenibilidad en el uso de los recursos naturales, la Facultad de Ingeniería Civil de Brno se ha dedicado durante muchos años al desarrollo del aislamiento con materiales hechos de fibras naturales de origen agrícola. Estos materiales muestran una gran promesa en ingeniería civil. Las pruebas experimentales realizadas en el pasado han revelado que las propiedades de estos los materiales son comparables a los de los aislantes sintéticos disponibles en el mercado. Sin embargo, en términos de aislamiento térmico, las propiedades de los materiales de fibra natural tienen un comportamiento higratérmico diferente, que se debe a las diferentes estructuras de los aislamientos, así como el bajo valor de conductividad térmica de las fibras naturales (en comparación, por ejemplo, con fibras de vidrio o minerales). El artículo trata sobre el desarrollo del aislamiento de partículas basado en fibras naturales, su comportamiento bajo diferentes condiciones y principalmente con el examen de las propiedades térmicas en función de la humedad y la densidad aparente. El documento también presenta los resultados de investigación en la dependencia del aislamiento térmico, propiedades acústicas y mecánicas de las manufacturas experimentales para aislamientos en su densidad aparente (Reif *et al.*, 2016).

Kremensas *et al.* (2017) realizaron el trabajo sobre Investigaciones sobre las propiedades físico-mecánicas de materiales de aislamiento térmico efectivos de cáñamo fibroso, en donde indican que el agotamiento de los recursos de combustibles fósiles y las grandes cantidades de contaminantes emitidos a la atmósfera, obligan a buscar recursos renovables alternativos. Uno de estos recursos es el cáñamo fibroso. Las fibras se caracterizan por su baja densidad, baja conductividad térmica y estructura porosa; por lo tanto, son adecuados para la producción de materiales compuestos de aislantes térmicos.

Los autores Zach *et al.* (2016), publican un trabajo denominado Investigación del proceso de transferencia de calor en la estructura de materiales aislantes térmicos a base de fibras naturales. En donde indican que los materiales de aislamiento térmico basados en fibras

naturales son algunos de los materiales prometedores que están surgiendo actualmente en el mercado de la construcción. Estos materiales son importantes especialmente en términos de desarrollo sostenible, ya que utilizan recursos de materias primas renovables o materiales secundarios y su producción no consume demasiada energía. Sin embargo, un problema con estos materiales es el comportamiento bastante diferente durante el transporte de calor y humedad en comparación con el aislamiento convencional, que está hecho de materiales sintéticos (espuma de poliestireno) o inorgánicos (lana mineral). El artículo presenta los resultados de una investigación práctica sobre el proceso de transferencia de calor a través de la estructura de materiales de aislamiento térmico a base de fibras naturales.

Los trabajos de Manzano *et al.* (2015) presenta una Revisión de las estrategias de arquitectura bioclimática para lograr el confort térmico. El presente estudio realizó un análisis exhaustivo que se estratificó en tres grandes bloques. El primer bloque examinó el concepto de arquitectura bioclimática. El segundo examinó las estrategias de construcción de arquitectura bioclimática en función de cada zona climática con el objetivo de lograr el mayor nivel de confort climático dentro de un edificio específico. El tercer bloque analizó las principales tendencias de investigación científica en este campo y destacó el uso de estrategias de arquitectura vernácula, experimentación con arquitectura bioclimática.

Un estudio sobre el Análisis y evaluación de sistemas bioclimáticos para caracterizar su desempeño en módulos experimentales. Destaca que la provisión de un refugio adecuado fue la premisa básica de los hábitats humanos desde tiempos remotos, destinados a brindar condiciones de confort interior y protección contra las condiciones ambientales externas. El papel que desempeña la envolvente del edificio es esencial para lograr este objetivo. Este trabajo investigó el rendimiento térmico de tres módulos experimentales diferentes (EM) con un sistema de control solar (SCS) y diferentes características de envoltura en relación con un módulo de control (CM). Los resultados mostraron que el EM con el SCS y las paredes de tierra apisonadas presentaron el mejor rendimiento térmico en relación con el CM. Se espera que los resultados se puedan aplicar en viviendas de bajo costo de varias regiones del país para proporcionar condiciones de confort térmico (Nayelly *et al.*, 2017).

Los autores Tzikopoulos *et al.* (2007) realizan un estudio sobre modelización de la eficiencia energética de edificios bioclimáticos. Afirman que la aplicación de principios bioclimáticos es un factor crítico para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector de la construcción. El trabajo desarrolla un modelo de regresión de la eficiencia energética en función de las condiciones ambientales, las características de los edificios y las tecnologías de energía solar pasiva. Se recolectó una muestra de 77 edificios bioclimáticos (incluyendo 45 casas) que cubren Grecia, otras áreas mediterráneas y el resto de Europa. La eficiencia energética promedio varió de 19.6 a 100% con un promedio de aproximadamente 68%. En donde indican que el modelo desarrollado puede ser de utilidad para arquitectos, ingenieros y responsables políticos. Similarmente un estudio realizado por Kumar *et al.* (2010), denominado Estudio de rendimiento térmico y evaluación de temperaturas de confort en edificios vernáculos del noreste de la India. Indican que se están utilizando técnicas solares pasivas en edificios vernáculos en todo el mundo. Los investigadores realizan un extenso estudio sobre el rendimiento térmico de los edificios vernáculos en las diferentes partes del mundo. Este estudio también trató de concretar el rango de temperatura de confort para diferentes estaciones del año. Otro trabajo realizado por Anna-maria (2009) sobre la Evaluación de un asentamiento vernáculo Griego sostenible y su paisaje: tipología arquitectónica y física de la construcción. En este estudio, varios tipos de viviendas de adobe son los encuestados y su respuesta al clima, en términos de diseño del sitio y del edificio, son evaluados. El diseño bioclimático emplea tecnologías apropiadas y principios de diseño basado en un enfoque atento al clima y al medio ambiente.

Este artículo evalúa los tipos de vivienda vernáculos específicos y su respuesta a diferentes climas, basado en principios de diseño pasivo que podrían adaptarse a la práctica arquitectónica actual con el fin de optimizar la relación entre sitio, edificio y clima.

En seguida se reseña de los trabajos en el ámbito nacional:

El primer trabajo de tesis que de menciona es realizada por Molina (2016) sobre la “Evaluación bioclimática de una vivienda rural alto andina de la comunidad de San Francisco de Raymina de Ayacucho”. En donde realiza un estudio sobre el comportamiento de una vivienda térmica construida en el 2010 por el CER-UNI. Toma las mediciones experimentales y contrasta con un programa de simulación EnergyPlus.

El segundo trabajo de tesis que se cita es sobre “Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz”. En donde examina los diferentes sistemas solares pasivos para aplicarlos en calentar viviendas de densidad media sobre un terreno normativo mínimo que se encuentran dentro la ciudad, de tal manera, que sean concordantes con las condiciones culturales y climatológicas de Huaraz. El método ha consistido en diseñar 5 viviendas solares pasivas similares, pero con diferente sistema de calentamiento solar pasivo y relacionarlas con una construcción típica existente. Para evaluarlas energéticamente, se utilizó dos métodos de análisis de simulación correlativa. Como resultado determina que, la vivienda que tiene el mejor comportamiento térmico, en relación a los aspectos ambientales y culturales de los habitantes de Huaraz, es la vivienda con sistema solar pasivo directo que utiliza ventanas y claraboyas (Corrales, 2012).

El tercer trabajo de tesis que se considera es sobre la “Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticas de calentamiento aplicadas en un módulo de vivienda de san francisco de Raymina-Ayacucho con el propósito de validarlas como técnicas de estrategias bioclimáticas para viviendas rurales alto andinas”. En donde diseña una vivienda compuesta con un colector solar e instalaciones de tubos radiantes en su interior por donde circula agua caliente suministrado por el colector. Los resultados fueron sorprendentes, que logró un confort térmico agradable (Espinoza, 2014).

Además de los trabajos que se ha mencionado anteriormente, también cabe considerar los proyectos pilotos desarrollados por instituciones, investigaciones desarrollados por grupos de estudio y presentados en el Simposio Peruano de Energía Solar con la finalidad de mejorar las condiciones térmicas de las viviendas alto andinas.

Acondicionamiento térmico para edificaciones rurales altoandinas. En el presente artículo se presenta los resultados del estudio piloto de acondicionamiento térmico, encargado por la Dirección Nacional de Construcción del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y desarrollado por el CER-UNI. El objetivo fundamental es proveer a los pobladores de comunidades ubicadas entre 3000 y 5000 msnm de distintas alternativas que solucionen arquitectónicamente el problema térmico presente en edificaciones que sufren bajas temperaturas con el propósito de que las familias habiten sus viviendas en situación de confort (Ramos *et al.*, 2013).

Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda altoandina para lograr el confort térmico con energía solar. El documento es parte de la elaboración de una tesis de maestría en Energías Renovables y Eficiencia Energética de Juan Omar Molina Fuentes. Se muestra los resultados iniciales de un estudio de campo con un Módulo Experimental de Vivienda (MEV) con dos ambientes contiguos (Norte y Sur) construido en San Francisco de Raymina, una comunidad al Sur de Ayacucho a 3700 msnm, con el énfasis de evaluar su comportamiento térmico mediante la aplicación de técnicas bioclimáticas y el uso de tecnologías solares, con el objetivo de lograr el confort térmico y ahorro energético en viviendas o edificaciones de zonas altoandinas (Molina & Horn, 2016).

Estudio climático de Vilcallamas Arriba y análisis de indicadores bioclimáticos de aplicación potencial. El este trabajo se presenta los resultados de un estudio climático hecho para la comunidad Vilcallamas Arriba (4500 msnm) del distrito Pizacoma, Chucuito, Puno, sobre la base de su ubicación geográfica, datos climáticos medidos durante un año (2009) y la aplicación de técnicas existentes para determinar la temperatura y humedad relativa requeridas para el confort térmico de un ambiente dentro de rangos de valores determinados aplicando dichas técnicas (Machuca *et al.*, 2012).

Albergue rural Suasi, se presenta la experiencia del albergue recientemente construido en 1988, en la isla Suasi en el Lago Titikaka, dotado con equipamiento con tecnología solar; el primer hospedaje verdaderamente ecológico del Perú: no solamente se ha considerado y respetado las características del medio ambiente para el diseño y su construcción, sino prácticamente toda la demanda energética del albergue es suministrada por energía solar. La electricidad requerida para iluminación, TV, computación, refrigeración y otros, está cubierta por paneles fotovoltaicos. Para tener disponible agua caliente se han instalado termas solares y para la cocción de los alimentos se usa mayormente tres cocinas solares tipo concentradores parabólicos. El Perú es uno de los países de mayor potencial solar en nuestro continente, ventaja competitiva que debemos aprovecharla para impulsar el ecoturismo (Horn & Giraldo, 2000).

En el desarrollo de proyectos construidos con arquitectura bioclimática, se puede citar el Arq. Hugo Zea, oriundo de Puno, quien ha desarrollado proyectos bioclimáticos de gran magnitud en la ciudad de Puno y en zonas aledañas, siendo los principales la Biblioteca de Universidad Nacional del Altiplano, el Terminal Terrestre de Puno, el Hotel Qalasaya



ubicado en el centro de la ciudad y sus obras de adobe el Centro Comunal y el Wawa Uta realizados en la comunidad Campesina de La Rinconada. El desarrollo de estos proyectos desde 1989 demuestra que se puede manejar la arquitectura para proveer bienestar interior manejando las condiciones ambientales (Gómez, 2012).



## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

En la región de Puno, la mayor parte de la población que habita en las zonas alto andinas ubicadas a más de 3800 msnm, viven en condiciones no confortables que están expuestas a bajas temperaturas, heladas y nevadas. En la época de invierno las temperaturas registradas están entre - 5 y -17 según Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2018). Las viviendas están construidas inadecuadamente y son vulnerables a bajas temperaturas, lo cual ocurre por desconocimiento sobre las tecnologías (hechas de los recursos naturales de la zona) con las cuales se pueden aprovechar la energía solar.

Esta situación presenta una condición negativa para la salud de las personas, sobre todo para los niños y los ancianos. En el año del 2015, según el Ministerio de salud (Minsa) se ha registrado la mortalidad de 80 niños a consecuencia de bajas temperaturas. En el año del 2018 a un par de días del inicio del invierno en Perú, según Minsa, han fallecido 604 personas por neumonía, producto de las bajas temperaturas que se registran en el país. De estas muertes, más de 400 corresponden a adultos mayores y 72 a niños menores de cinco años. También según la Dirección Regional de Salud (Diresa) de Puno, que desde el 2015 a 2018 hubo 51 niños fallecidos debido a bajas temperaturas que se da en la región altiplánica.

#### 2.2. Enunciados del problema

El problema de bajas temperaturas en la región de Puno es cíclico y las consecuencias de este fenómeno climatológico afecta a la salud de las personas. Estos hechos motivan realizar un trabajo de investigación con un soporte científico, para aprovechar

eficientemente los recursos naturales de la zona. Si esta situación continúa sin dar soluciones, los pobladores que habitan en zonas altoandinas seguirán teniendo condiciones negativas en cuanto a la salud, y viviendas sin condiciones de confort térmico, lo cual causaría pésima calidad de vida.

En este sentido es necesario realizar un estudio científico sobre las propiedades térmicas de la totora y otros materiales naturales de la zona y así aprovechar de una manera eficiente esta tecnología como material aislante. Una de las alternativas que se plantea es, aprovechar estos recursos para el acondicionamiento térmico de las viviendas de adobe ubicadas a más de 3800 msnm, en la región de Puno. Por ende, surgen las siguientes preguntas de investigación:

### **Pregunta general**

¿Cómo se podrá construir viviendas que tenga confort térmico con materiales naturales de la zona alto andina de la región Puno?

### **Preguntas específicas**

- a) ¿Qué materiales de la zona altoandina tendrán baja conductividad térmica para la construcción de viviendas que tenga confort térmico?
- b) ¿Qué materiales existen con valores altos de calor específico en la zona altoandina para almacenamiento de la energía térmica?
- c) ¿Cuál será la temperatura interior de la vivienda construida con materiales naturales de la zona altoandina en comparación con la temperatura del medio ambiente y de la habitación sin acondicionamiento térmico?

### **2.3. Justificación**

Las condiciones climáticas tan frías de las zonas altoandinas generan que las viviendas tengan ambientes fríos; esto trae cada año consecuencias mortales a causa de infecciones respiratorias agudas principalmente en niños y ancianos. Las temperaturas en las zonas altoandinas de la región de Puno, en la época de invierno descienden hasta menos de por las noches, debido a ello la población de estas zonas frías tienen problemas de salud. Pues, las viviendas están construidas inadecuadamente y son vulnerables a bajas temperaturas. Esto ocurre por falta de estudio sobre los materiales naturales de la zona y

desconocimiento sobre las tecnologías (hechas de los recursos naturales de la zona) con las cuales se pueden aprovechar la energía solar.

En este sentido se ha realizado un estudio científico sobre las propiedades térmicas, caloríficas de la totora y otros materiales naturales de la zona. Entonces, se puede aprovechar de una manera eficiente esta tecnología como material aislante. Esta tecnología en las zonas altoandinas permitirá aportes técnicos para la construcción de viviendas confortables. Una de las alternativas es, aprovechar estos recursos para el acondicionamiento térmico de las viviendas de adobe ubicadas a más de 3800 msnm, en la región de Puno. Con lo cual se puede evitar las infecciones respiratorias y se mejorará la calidad de vida de las personas que habitan en zonas frías. Una vivienda bioclimática aislado térmicamente con materiales aislantes de la zona altoandina mejorará las condiciones económicas en cuanto a los gastos que ocasiona la salud y educación.

Para la construcción de viviendas confortables se requieren materiales aislantes, en donde la mayoría de estos materiales deben ser naturales de la zona. Estos materiales no ocasionan impactos ambientales, en cambio, los materiales aislantes producidos artificialmente ocasionan impactos negativos sobre el medio ambiente.

## **2.4. Objetivos**

### **2.4.1. Objetivo general**

Evaluar el confort térmico de una vivienda de adobe aislada térmicamente con totora en la provincia de Chucuito – región Puno.

### **2.4.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar los materiales de la zona alto andina que tienen baja conductividad térmica para la construcción de viviendas confortables.
- b) Determinar materiales que existen con valores altos de calor específico para almacenamiento de la energía térmica.
- c) Probar que la temperatura interior de la vivienda, aislado térmicamente por el interior con la totora es mayor que la temperatura del medio ambiente y de las habitaciones sin acondicionamiento térmico.

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

En las zonas altoandinas existen materiales naturales de baja conductividad térmica, alto valor de calor específico; evaluando y empleando estos materiales para la construcción, mejora las condiciones térmicas de una vivienda.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- a) Determinando los materiales ideales en la zona alto andina, se tendrán materiales de baja conductividad térmica para la construcción de viviendas confortables.
- b) Determinando materiales que existen con valores altos de calor específico, mejora el almacenamiento de la energía térmica.
- c) La temperatura interior de la vivienda construida con materiales naturales y aislada térmicamente con totora por el interior será mayor que la temperatura del medio ambiente y de la habitación sin acondicionamiento térmico.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano, se tomó como unidad de análisis la totora y el abobe. La totora se adquirió de la Zona de Chimu del distrito de Chucuito del departamento de Puno. A continuación, la otra parte del estudio se hizo en la provincia de Chucuito del distrito de Zepita del departamento de Puno, en donde se ha realizado la construcción de una vivienda confortable.

#### 3.2. Población

Para el presente trabajo se consideró a los materiales aislantes y acumuladores de calor utilizados para la construcción de viviendas, en este caso en su mayoría son naturales; y las viviendas confortables y como también las viviendas típicas sin confort térmico.

#### 3.3. Muestra

Las muestras se eligen por muestreo no probabilístico, pues así lo requiere el presente trabajo de investigación experimental. Las muestras que se consideran como materiales aislantes y acumuladores de calor son los materiales naturales de la zona y que sean económicas para su adquisición. También se consideró una vivienda confortable que se ha construido a base de materiales naturales de la zona.

#### 3.4. Método de investigación

Para la realización del presente trabajo de investigación, de acuerdo a los objetivos planteados se consideró la siguiente metodología:

- a) El primer objetivo es determinar los materiales de la zona alto andina que tienen baja conductividad térmica para la construcción de viviendas confortables. Para ello las muestras seleccionadas se llevan al laboratorio, en donde se toman datos para determinar la conductividad térmica del material en estudio.
- b) El segundo objetivo es determinar materiales que existen con valores altos de calor específico para almacenamiento de la energía térmica. Para lo cual las muestras seleccionadas se llevan al laboratorio, en donde se toman los datos para determinar el calor específico del material.
- c) El tercer objetivo es determinar la temperatura interior de la vivienda en comparación con la temperatura del medio ambiente y de las habitaciones existentes. Para lo cual, antes se construye una vivienda utilizando los materiales naturales de la zona altoandina, esta construcción se realiza con los materiales estudiados en los objetivos a) y b), posteriormente se realiza monitoreo de la temperatura para determinar el confort térmico de la vivienda construida.

### **3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

#### **3.5.1. Conductividad térmica de los materiales**

##### **3.5.1.1. Preparación de las muestras y equipos**

Para determinar la conductividad térmica de los materiales, se elaboró muestras de adobe  $14\text{ cm} \times 14\text{ cm}$  con un espesor de 3.2 cm, 4 cm y 5 cm; las muestras de k'esana  $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$  con espesores de 2 cm, 2.5 cm y 3 cm. El adobe está compuesto de barro y paja en su elaboración, la k'esana es elaborado de la totora en forma de panel.

El equipo que se han utilizado para la medición de la conductividad térmica de los materiales de construcción es Thermal Conductivity Apparatus TD-8561: Pasco. La conductividad térmica del material ha sido determinada por mediciones indirectas.



Figura 2. Muestras de adobe

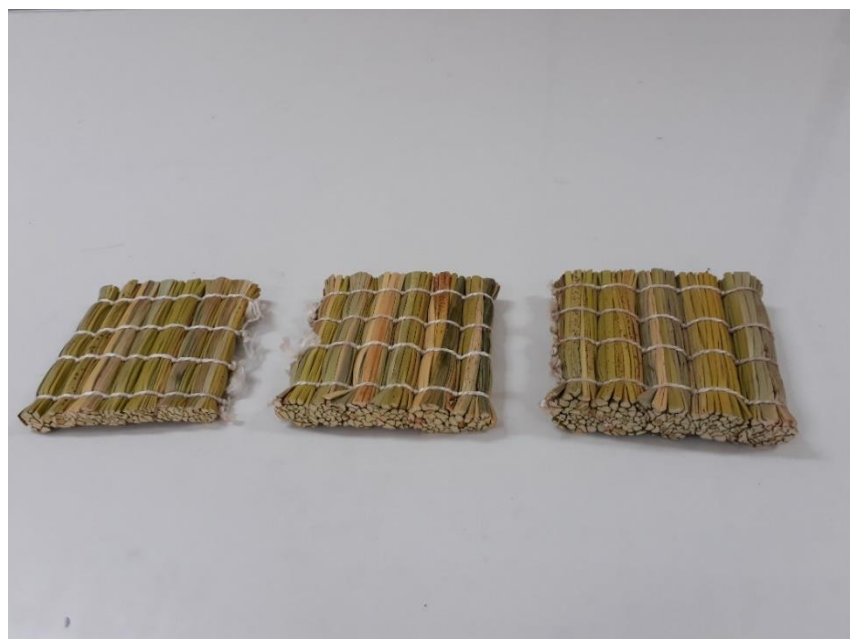


Figura 3. Muestras de k'esana

### 3.5.1.2. Procedimiento y el principio físico

El principio físico para determinar la conductividad térmica está basado en la ecuación (2.1) que se conoce como la *ley de Fourier de la conducción de*

*calor* para sistemas unidimensionales, en donde la propiedad  $k$  de los materiales depende del espesor  $h$ , del área  $A$  de los lados de las muestras que están sometidos a diferentes temperaturas de los focos caliente  $T_c$  y frío  $T_f$ . Como también de la cantidad del calor transferido por unidad de tiempo. En donde los focos están a temperaturas de ebullición y congelamiento del agua.

El foco caliente está contenido de vapor de agua a una temperatura  $T_c = 84.5^\circ C$  y el foco frío es el bloque de hielo que está a una temperatura de  $T_f = 0^\circ C$ , el foco caliente y frío están en contacto con la superficie de la muestras de área  $A$  de los materiales de construcción.

Para toma de datos y la identificación de la variable independiente y dependiente en función a los datos que se requieren para determinar la conductividad térmica, primero se instaló el equipo de medición Thermal Conductivity Apparatus TD-8561: Pasco. Luego utilizando la ecuación (2.1) se obtiene la relación:

$$\frac{Q}{\Delta t} = k A \frac{\Delta T}{h} \quad (3.1)$$

$$k = \frac{Q h}{A \Delta T \Delta t} = \frac{\Delta m L h}{A \Delta T \Delta t} = \frac{(R_o L) h}{A \Delta T} \quad (3.2)$$

En donde  $R_o$  es la velocidad del derretimiento del hielo, también de la ecuación (3.2) se obtiene una función que relaciona las variables entre  $\Delta m$  y  $\Delta t$ , esto es,

$$\Delta m = \left( \frac{k A \Delta T}{L h} \right) \Delta t \quad (3.3)$$

En donde la variable dependiente es  $\Delta m$  y la variable independiente es  $\Delta t$ .

Una de las caras de la muestra está sometido a la temperatura de ebullición del agua y la otra al congelamiento del agua, y la diferencia de temperatura es  $\Delta T = 84.5^\circ C$ . Según (Dershowitz, 2013) el calor latente de fusión del agua



es  $L = 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$ . El espesor  $h$  de cada una de las muestras de los materiales de construcción es diferente. El área  $A$  que cubre el bloque del hielo sobre una de las caras de la muestra es diferente para cada evento.

### 3.5.1.3. Análisis de los resultados

Para determinar la conductividad térmica se hizo por el método de regresión lineal. Las variables que se consideran están dadas por  $\Delta m$  que representa la cantidad de masa del hielo fundido en función del tiempo que tarda  $\Delta t$ . Esto ocurre cuando el calor fluye entre la muestra desde el cuerpo de alta temperatura hacia el cuerpo de baja temperatura.

El modelo matemático que utiliza el método de regresión lineal es dado por

$$y = ax + b \quad (3.4)$$

Comparando las ecuaciones (3.3) y (3.4) se obtiene el coeficiente de la variable independiente  $\Delta t$ , que es dado por

$$a = \frac{k A \Delta T}{L h} \quad (3.5)$$

En esta ecuación (3.5) el valor del parámetro  $a$  es conocido y luego para determinar la conductividad térmica se despeja el parámetro  $k$ .

## 3.5.2. Calor específico de los materiales de construcción

### 3.5.2.1. Preparación de muestras, equipos y el principio físico

Para determinar el calor específico de la totora se hará preparación de las pequeñas muestras de 100 g, 150 g y 200 g. El equipo que se utilizará para su medición es Calorimeter ET- 8499. El principio físico que se ha utilizado para determinar el calor específico del material es el principio de la conservación de la energía en un proceso de mezclado se sustancia dentro de un recipiente llamado calorímetro. Se utilizará el agua como la sustancia que transfiere la energía calorífica por contacto a las demás sustancias o muestra de material en análisis. En este balance energético se utiliza la ecuación

$$Q_{ganado} = Q_{perdido} \quad (3.6)$$

Durante el proceso, el agua y el recipiente que la contiene son sustancias que pierden energía calorífica y las que ganan esta energía es el material en análisis que está dentro del calorímetro. En este procedimiento el calor específico del agua y del aluminio son conocidos  $c_{H_2O} = 4186 J/(kg \cdot ^\circ C) = 1.00 cal/(g \cdot ^\circ C)$  y  $c_{AL} = 900 J/(kg \cdot ^\circ C) = 0.215 cal/(g \cdot ^\circ C)$  respectivamente (R. A. Serway & Jewett, 2008). Las masas del agua y del material en análisis son determinados previamente, también la temperatura inicial y la temperatura de equilibrio térmico. La única variable por determinar es el calor específico del material  $c_m$ .

El calor ganado por la muestra y el aluminio que contiene a la muestra del material es dado por

$$Q_{ganado} = Q_{AL,m} + Q_m \quad (3.7)$$

Donde el *calor ganado* por el envase de aluminio que contiene a la muestra del material está dado por

$$Q_{AL,m} = m_{Al,m} c_{Al} (T_{Al,m} - T_{eq}) \quad (3.8)$$

El calor ganado por el material es dado por

$$Q_m = m_m c_m (T_{Al,m} - T_{eq}) \quad (3.9)$$

La ecuación para determinar el *calor perdido* por el agua y el recipiente de aluminio que lo contiene es

$$Q_{perdido} = Q_{Al,H_2O} + Q_{H_2O} \quad (3.10)$$

Donde el calor perdido por el aluminio que lo contiene agua es

$$Q_{Al,H_2O} = m_{Al,H_2O} c_{Al} (T_{eq} - T_{Al,H_2O}) \quad (3.11)$$

El calor perdido por el agua caliente es



Para el presente trabajo de investigación se construyeron dos habitaciones para realizar la comparación del comportamiento térmico. Una de ellas, el lado izquierdo de la figura 4, la habitación es acondicionada térmicamente (HAT); en donde sus dimensiones son 3.80 m x 3.60 m. La dimensión del departamento es de 9 m x 5.70 m, en donde se aprecia dos habitaciones, su baño y su ducha, pasadizo de 1.80 m de ancho, y una puerta externa de 0.90 m.

También se ha construido una habitación sin acondicionamiento térmico (HSAT), cuyas dimensiones son las mismas que la habitación con acondicionamiento térmico, tal como se muestra en el lado de la derecha de la figura 4. Esta HSAT tienen las mismas características que las habitaciones existentes en las zonas alto andinas de las regiones del sur del Perú, como las que se encuentran en Puno. La HSAT se ha construido al lado de la habitación con acondicionamiento térmico, para que las condiciones climáticas del medio ambiente sean las mismas en ambas habitaciones.

### 3.5.3.1. Aislamiento térmico del techo y cielo raso

El techo está soportado por los armazones de madera de 2x3 pulgadas en sección transversal, con una cubierta exterior de planchas de calamina. En el interior, en este caso en el cielo raso, se colocó una k'esana prensada, cuyas dimensiones son de 3.80 m x 3.60 m; por debajo de la k'esana se colocó una capa de yeso, con lo cual se consigue un cielo raso horizontal, tal como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Aislamiento del cielo raso

### 3.5.3.2. Aislamiento térmico de los muros

La HAT se ha construido sobre una cimentación de piedra, sobre la cual se levantó la pared exterior de adobe, con una altura de 2.42 m. Luego en el interior se ha pasado una capa de barro para sellar los pequeños agujeros. En seguida se colocó un manto de k'esanda de totora prensada, y finalmente se hace en el interior del muro, enlucido de una capa de mortero de yeso, tal como se observa en la figura 6.



Figura 6. Aislamiento de muros

### 3.5.3.3. Aislamiento térmico de las ventanas

En la HAT se ha colocado una ventana de madera de doble vidrio, de dimensiones 60 cm x 75 cm. Las ventanas son los elementos más débiles térmicamente en una habitación, ya que es el punto por donde pierde fácilmente el calor. Por eso, es importante colocar ventanas con puente térmico para evitar fugas de calor.

### 3.5.3.4. Aislamiento térmico de las puertas

La puerta de la HAT está hecha de madera, que consta de dos placas de triplay con espesor de 4.5 mm, separado por 4 cm de aire inerte en el intermedio de las placas de triplay. La puerta ha sido colocada sobre marcos de madera fijadas en la pared, para sus acabados y fijaciones se utilizó yeso.

### 3.5.3.5. Aislamiento térmico de los pisos

El piso de la HAT consta de los siguientes elementos, sobre el suelo natural se ha colocado una cama de piedra, luego por encima se han colocado durmientes de madera de 2x3 pulgadas y entre las separaciones se rellena con aserrín. Finalmente, para el acabado, entre los durmientes se hace un nivelado con planchas de tecnopor, con espesor de 2.5 cm, y por encima de esto se hace el entablado con tablonces de madera, tal como se muestra en la figura 7. Los materiales utilizados son de baja conductividad térmica, para evitar pérdidas de calor.



*Figura 7.* El piso es colocado con materiales de baja conductividad

### 3.5.4. Temperatura de confort térmico en el interior de la habitación con acondicionamiento térmico

#### 3.5.4.1. Utilización de equipos para las mediciones

Para realizar las mediciones se han utilizado termohigrómetros HOBO MX temp/RH logger. Las mediciones se han efectuado en la época de invierno, desde el 09 de junio al 30 de agosto del 2020. La frecuencia con que registra el equipo es cada 20 minutos, de forma continua. Se instalaron equipos dentro de la habitación con acondicionamiento térmico (HAT), dentro de HSAT, y

en el exterior, es decir en el medio ambiente (MA), tal como se muestra en la tabla 10.

#### **3.5.4.2. Análisis estadístico de resultados**

El análisis de datos estadístico de varianza (ANDEVA) se realizó para hacer la prueba de hipótesis de las diferencias de temperatura que existe entre la HAT, HSAT, y MA durante las horas diurnas y nocturnas, en donde el frío es extremadamente molesto en el interior de las habitaciones en las zonas alto andinas.

El nivel de confianza que se ha usado es de 95 % y la pregunta que se ha formulado para este análisis estadístico ha sido: ¿Existirá una diferencia significativa estadísticamente en el promedio de temperaturas, entre las temperaturas registradas para los sistemas HAT, HSAT, y MA? En base a esta pregunta se elaboró la hipótesis nula denotada por  $H_0$ : El promedio de temperaturas en los 3 sistemas son iguales con un 95 % de confianza.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Conductividad térmica de los materiales

Los valores medidos con el equipo para determinar la conductividad térmica de los materiales de construcción, en este caso para el adobe se registra en la tabla 1, en donde se tiene cuatro eventos de medición en diferentes fechas. En esta tabla los valores que se registran son, el espesor de la muestra del adobe, los diámetros del hielo, los tiempos en que se derrite el hielo y la masa del hielo derretido.

Tabla 1

*Datos experimentales para la determinación de la conductividad térmica del adobe - Puno, 2019*

N°	h	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	t <sub>a</sub>	m <sub>wa</sub>	t	m <sub>w</sub>
Eventos	(cm)	(cm)	(cm)	(min)	(g)	(min)	(g)
01	3.2	7.32	7.00	10	8.31	10	17.34
02	4	7.3	7.1	10	9.72	6	7.73
03	4	7.7	7.4	10	8.82	10	17.6
04	3.2	7.2	7.1	10	5.08	10	15.15



Con los valores de la tabla 1, se han tomado el promedio de  $d_1$  y  $d_2$  para determinar  $d_{avg}$ , el diámetro promedio del hielo durante el experimento, lo cual se registra en la tabla 2. Se utiliza el valor de  $d_{avg}$  para determinar A, el área sobre la cual tuvo lugar el flujo de calor entre el hielo y la cámara de vapor. (Suponga que A es solo el área del hielo en contacto con el material de muestra). Luego se divide  $m_{wa}$  entre  $t_a$  y  $m_w$  entre t para determinar  $R_a$  y  $R$ , las velocidades a las que el hielo se derritió antes y después de encender el vapor. Finalmente, se hace la diferencia entre  $R$  y  $R_a$  para obtener  $R_0$ .

Tabla 2

*Procesamiento de datos de la tabla 1 para determinar la conductividad térmica del adobe*

N° Eventos	$d_{avg}$ (cm)	A (m <sup>2</sup> )	$R_a$ (kg/s)	R (kg/s)	$R_0$ (kg/s)
01	7.16	$4.03 \times 10^{-3}$	$1.39 \times 10^{-5}$	$2.89 \times 10^{-5}$	$1.51 \times 10^{-5}$
02	7.20	$4.07 \times 10^{-3}$	$1.62 \times 10^{-5}$	$2.15 \times 10^{-5}$	$5.27 \times 10^{-6}$
03	7.55	$4.48 \times 10^{-3}$	$1.47 \times 10^{-5}$	$2.93 \times 10^{-5}$	$1.46 \times 10^{-5}$
04	7.15	$4.02 \times 10^{-3}$	$8.47 \times 10^{-6}$	$2.53 \times 10^{-5}$	$1.68 \times 10^{-5}$

Para determinar la conductividad térmica del material se utiliza la ecuación (3.2), al reemplazar los valores de la tabla 2 se obtiene la conductividad térmica del adobe que se registra en la tabla 3.

Tabla 3

*Conductividad térmica del adobe*

N°	$\Delta T$	k	k
Eventos	(°C)	$(\frac{W}{m \cdot ^\circ C})$	$(\frac{W}{m \cdot K})$
01	85	0.47	0.47
02	84	0.20	0.20
03	84.3	0.52	0.52
04	84.5	0.53	0.53

Los valores medidos para determinar la conductividad térmica de la totora (k'esana) se registra en la tabla 4. Utilizando estos datos se obtienen los valores para la conductividad térmica de la totora, en donde el procedimiento es el mismo que el adobe y se registra en la tabla 5.

Tabla 4

*Datos experimentales para la determinación de la conductividad térmica de la k'esana - Puno, 2019*

N°	h	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	t <sub>a</sub>	m <sub>wa</sub>	t	m <sub>w</sub>
Eventos	(cm)	(cm)	(cm)	(min)	(g)	(min)	(g)
01	2.9	6.9	6.7	10	7.23	10	7.56
02	2.5	7.1	6.9	10	6.37	10	8.54
03	1.9	7.1	7	10	5.8	10	8.2
04	2.5	7	6.8	10	7.61	10	6.84

Tabla 5

*Conductividad térmica de la k'esana*

N°	$\Delta T$	k	k
Eventos	(°C)	( $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ )	( $\frac{W}{m \cdot K}$ )
01	84.2	0.018	0.018
02	84.2	0.093	0.093
03	84.2	0.073	0.073
04	84.2	0.037	0.037

El valor medio de la conductividad térmica del abobe que se ha obtenido experimentalmente es  $0.43 \text{ W/m K}$ , este valor comparado con la conductividad térmica de la madera (cuyo valor es  $0.29\text{-}0.13 \text{ W/m K}$ ) es mayor. Y si se hace una comparación de la conductividad térmica del abobe con el yeso ( $0.48 \text{ W/m K}$ ), pues se aprecia que la conductividad del abobe es menor que la conductividad del yeso (Serway & Jewett, 2008). Al realizar comparaciones de la conductividad térmica del adobe, tanto con la madera y yeso, se puede ratificar que el valor experimental de la conductividad térmica del adobe es fiable (tabla 6).

Por otro lado, el valor medio de la conductividad térmica de la k'esana es  $0.055 \text{ W/m K}$ , este valor comparado con la conductividad térmica de la madera (cuyo valor es  $0.29\text{-}0.13 \text{ W/m K}$ ) es menor. Y si se hace una comparación de la conductividad térmica de la k'esana con el aire ( $0.026 \text{ W/m K}$ ), se observa que la conductividad térmica de la k'esana es mayor que la conductividad térmica del aire (Serway & Jewett, 2008). Al efectuar estas comparaciones, de la conductividad térmica de la k'esana con la madera y aire, se puede confirmar que el valor experimental de la conductividad térmica de la k'esana es un valor que está dentro de un rango confiable (tabla 6).

Tabla 6

*Conductividad térmica de los materiales de construcción, 2019*

<b>Materiales de construcción</b>	<b>Conductividad térmica</b> $\left(\frac{W}{m K}\right)$
Adobe	0.43
K'esana de totora	0.055
Madera (*)	0.29 – 0.13
Aire (*)	0.026
Yeso (*)	0.48
Vidrio (*)	0.84

Fuente: Serway & Jewett, 2008 (\*)

Los valores de los resultados en la tabla 6, se pueden comparar con los resultados obtenidos por Kremensas *et al.*, (2017) quien utilizando fibras de cáñamo ha obtenido una conductividad térmica más baja, cuyo valor es de  $0.0367 W/mK$ . Este resultado se puede comparar con la conductividad térmica de la K'esana de totora, pues estos materiales tanto en su estructura como en propiedades son similares. Para los materiales fardo de paja, fibra de lino, fibra de cáñamo y fibra de madera cuyos valores son de  $0.065 W/mK$ ,  $0.052 W/mK$ ,  $0.052 W/mK$  y  $0.048 W/mK$  (Volf *et al.*, 2015); los cuales son similares a la k'esana. Desde el punto de vista del desarrollo sostenible y desde el punto de vista medioambiental (emisiones de  $CO_2$ ), los materiales aislantes térmicos a base de fibras orgánicas naturales son una alternativa prometedora al aislamiento térmico sintético de fibras minerales y sustancias plásticas espumadas (Zach *et al.*, 2013). Los productos aislantes se utilizan para bloquear la transferencia de calor, aumentando su rendimiento y disminuyendo su espesor son desafíos críticos para brindar el confort requerido a los usuarios durante su período de descanso (Carvalho *et al.*, 2017).

El Azhary *et al.*, (2017) utilizando un compuesto de materiales arcilla-paja han realizado mediciones de conductividad térmica, cuyo valor es de  $0.3672 W/mK$ . El resultado se

puede comparar con la conductividad térmica del adobe, pues el adobe también se elabora utilizando materiales como el barro y paja.

#### 4.2. Calor específico de los materiales de construcción

Utilizando el equipo Calorimeter ET- 8499, se han registrado los datos para las muestras de la k'esana, lo cual es uno de los elementos constructivos. Estos datos son las masas de la muestra y del agua, denotado por  $m_m$  y  $m_{H_2O}$ ; la masa del recipiente de aluminio que contiene agua es denotada por  $m_{Al,H_2O}$ . También las temperaturas iniciales de la muestra y del agua están representados por  $T_m$  y  $T_{Al,H_2O}$ ; y la temperatura de equilibrio es denotado por  $T_{eq}$ , tal como se muestra en la tabla 7. El calor específico del agua y del aluminio son denotados por  $c_{H_2O}$  y  $c_{AL}$ , estos valores son conocidos.

Tabla 7

*Datos experimentales de temperaturas y las masas para determinar el calor específico de la k'esana, Puno del 2019*

N° Eventos	Temperatura (°C)			Masas (g)		
	$T_m$	$T_{Al,H_2O}$	$T_{eq}$	$m_{Al,H_2O}$	$m_{H_2O}$	$m_m$
01	87	18	19.5	26.85	66.5	2.39
02	87	18	20.6	26.85	38.19	2.39
03	87	20.2	22	26.85	37.99	2.39
04	88.2	18.7	20.8	26.85	41.3	2.39
05	88.2	19.5	20.8	26.85	36.7	2.39
06	88.2	18.9	20.9	26.85	35.86	2.39
07	88.2	19.2	20.6	26.85	38.15	2.39
08	88.2	18.2	20.1	26.85	42.7	2.39

Para determinar el calor específico de la k'esana se utilizó la ecuación 3.14 y los datos de la tabla 7, en donde se representan 8 eventos. Los datos de cada evento, permite determinar el calor específico del material en análisis, tal como se muestra en la tabla 8. El valor medio del calor específico de la k'esana se ha obtenido de la tabla 8 y cuyo valor es 2260.38J/kg K.

Tabla 8

*Valores de calor específico de la k'esana - Puno, 2019*

<b>N° Eventos</b>	<b>Calor específico ( J / kg K )</b>
01	2812.96141
02	3015.03304
03	2122.58804
04	2568.8035
05	1434.8147
06	2166.96563
07	1593.20925
08	2368.67811

Tabla 9

*Calor específico de los materiales de construcción - Puno, 2019*

<b>Materiales de construcción</b>	<b>Calor específico ( J / kg K )</b>
K'esana	2260.38
Madera (*)	1700
Agua (*)	4186
Cobre (*)	387

Fuente: Serway & Jewett, 2008 (\*)

El valor medio del calor específico de la k'esana que se ha obtenido experimentalmente es  $2260.38 \text{ J/kg K}$ , este valor comparado con el calor específico de la madera ( $1700 \text{ J/kg K}$ ) es mayor (Serway & Jewett, 2008). Los materiales porosos tienen la mayor capacidad de almacenamiento de calor, es debido a que el calor específico de la k'esana sea mayor que la madera. También se puede hacer una comparación del calor específico de la k'esana con la del agua (cuyo valor es  $4186 \text{ J/kg K}$ ), en donde el calor específico del agua es mucho mayor que la de k'esana (Serway & Jewett, 2008).

Los materiales de almacenamiento de calor absorben calor a través de los mecanismos de transferencia de calor (radiación, conducción y convección). A medida que los materiales se enfrían por la noche o en días nublados, posteriormente liberan el calor almacenado de la misma manera (Hassanain *et al.*, 2011). El almacenamiento de energía térmica es una de las tecnologías energéticas más importantes en la actualidad y desempeña un papel eficaz en el uso de aplicaciones de energía térmica (Tahan Latibari *et al.*, 2013).

#### 4.3. Confort térmico en el interior de la habitación

Las temperaturas han sido registradas utilizando los equipos para la medición de temperatura, en la tabla 13 (anexo) se muestran la base de datos de la HAT (habitación acondicionada térmicamente), HSAT (habitación sin acondicionamiento térmico), y MA (medio ambiente). En esta tabla se especifican las fechas y horas, durante el cual han sido registradas.

Se ha realizado el ANOVA, donde el valor de  $p$  que corresponde al análisis de varianza es  $p = 0$ , siendo menor al valor de  $\alpha = 0.05$  que representa un nivel de confianza de 95% (Figura 14, anexo), implica que se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ : El promedio de temperatura en los tres sistemas son iguales con un 95% de confiabilidad; aceptándose a la hipótesis alterna  $H_a$ : En al menos un sistema, el promedio de temperaturas es distinto con 95% de confiabilidad. Los valores de las diferencias de temperatura se puede apreciar en la figura 8, el valor de F calculado a 95% de confianza es  $F(0.05) = 553.47$ ; los grados de libertad son  $g. l. = 2$ ; mientras el  $p$ -valor calculado es  $p = 0$ .

Se elaboró un gráfico para realizar las comparaciones del comportamiento de las temperaturas entre los tres ambientes, como se muestra la figura 8, en donde se observa

que las temperaturas registradas para HAT son mayores que las temperaturas de la HSAT y la de MA. En la figura 14, indica que la temperatura promedio de HAT es  $12.84^{\circ}\text{C}$ , mientras la temperatura de HSAT es  $8.67^{\circ}\text{C}$ ; en donde la temperatura de HAT es mayor que la temperatura de HSAT.

Los resultados obtenidos en la figura 14 (temperaturas promedio de cada ambiente), se pueden comparar con los resultado obtenidos por Holguino (2021), en donde obtiene temperatura promedio para una habitación de prueba, habitación de comparación y medio ambiente; cuyos valores son  $12.025^{\circ}\text{C}$ ,  $8.144^{\circ}\text{C}$  y  $8.252^{\circ}\text{C}$ .

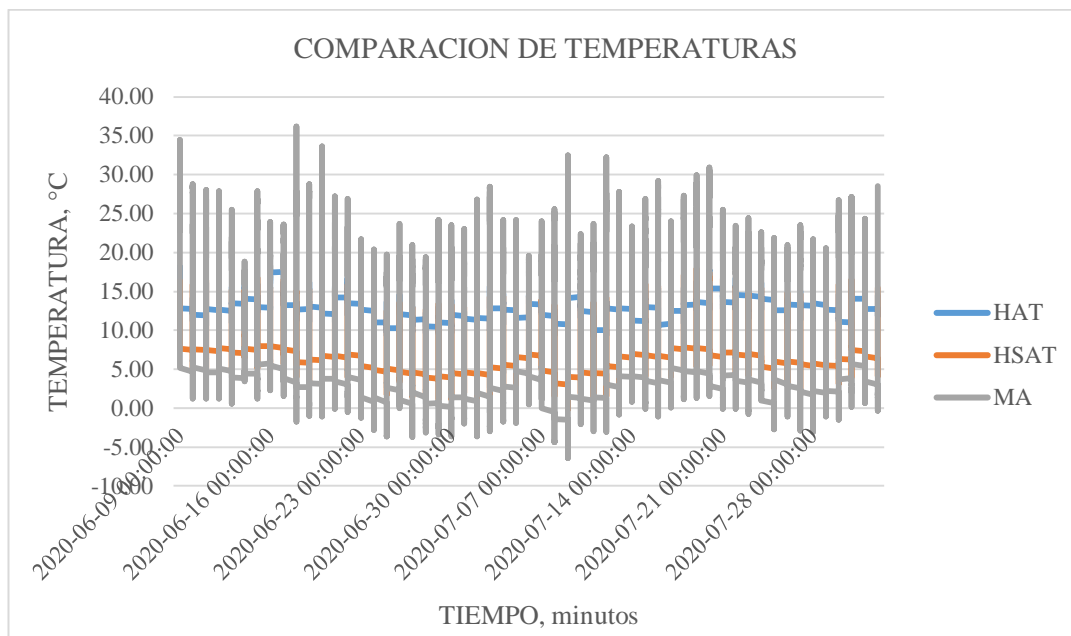


Figura 8. Comportamiento de las temperaturas en HAT, HSAT, y MA - Puno, 2020

En la figura 9 se muestra el monitoreo de temperaturas de la HAT, HSAT y MA. Los datos tomados, que se muestran en la gráfica, es para los días 9 y 10 de junio del 2020, inicia desde las 11:00 hasta las 13:00 del día siguiente. La curva de color rojo son las temperaturas registradas para el medio ambiente (MA); de color azul, para la habitación sin acondicionamiento térmico (HSAT) y de color verde, para la habitación acondicionada térmicamente (HAT). Como se puede apreciar, la curva que describe la



temperatura del medio ambiente, a partir desde las 14:00 horas empieza a descender abruptamente hasta las 18:00 horas. Luego la línea va en descenso hasta 06:00 horas del día siguiente, pero a partir desde este momento por la presencia de la radiación solar la temperatura empieza a subir. La curva que caracteriza el comportamiento de la temperatura de la habitación sin acondicionamiento térmico, desde las 18:00 horas hasta 06:00 del día siguiente es aproximadamente lineal, cuya pendiente de caída es menor que la del medio ambiente para el mismo lapso de tiempo. Y, por último, la curva que describe el comportamiento de la habitación con acondicionamiento térmico, desde las 14:00 horas hasta 07:00 horas del día posterior cuyo comportamiento es casi lineal, en donde la pendiente de caída es menor que la del medio ambiente como de la habitación sin acondicionamiento térmico. Las comparaciones de las pendientes, que se hizo, es para un tiempo de 18:00 a 06 horas del día posterior. Al haber analizado el comportamiento de las tres curvas de temperatura; la idea es que la curva verde, que caracteriza el comportamiento de la habitación acondicionada para el confort térmico, tenga aproximadamente pendiente cero, es decir, la línea sea casi horizontal. Si la temperatura de la habitación caliente cuya variación fuere entre 15 °C a 18 °C, entonces sería una buena alternativa para lograr los objetivos planteados.

La pendiente de la línea verde, en la figura 9, indica que durante las horas nocturnas hay pérdida de energía térmica dentro de la HAT. La transferencia de calor es desde la HAT hacia el exterior (MA). Para que la temperatura se mantenga alrededor de 18 °C durante la noche dentro de HAT, se debe corregir el aislamiento interno de HAT. De modo que la pendiente pueda ser casi horizontal. Y con esto se hubiera logrando los objetivos previstos en el presente trabajo con efectividad. En consecuencia, en las posteriores investigaciones, el aislamiento del recinto interior se construya tomando en cuenta las propiedades térmicas como la conductividad y resistividad térmica.

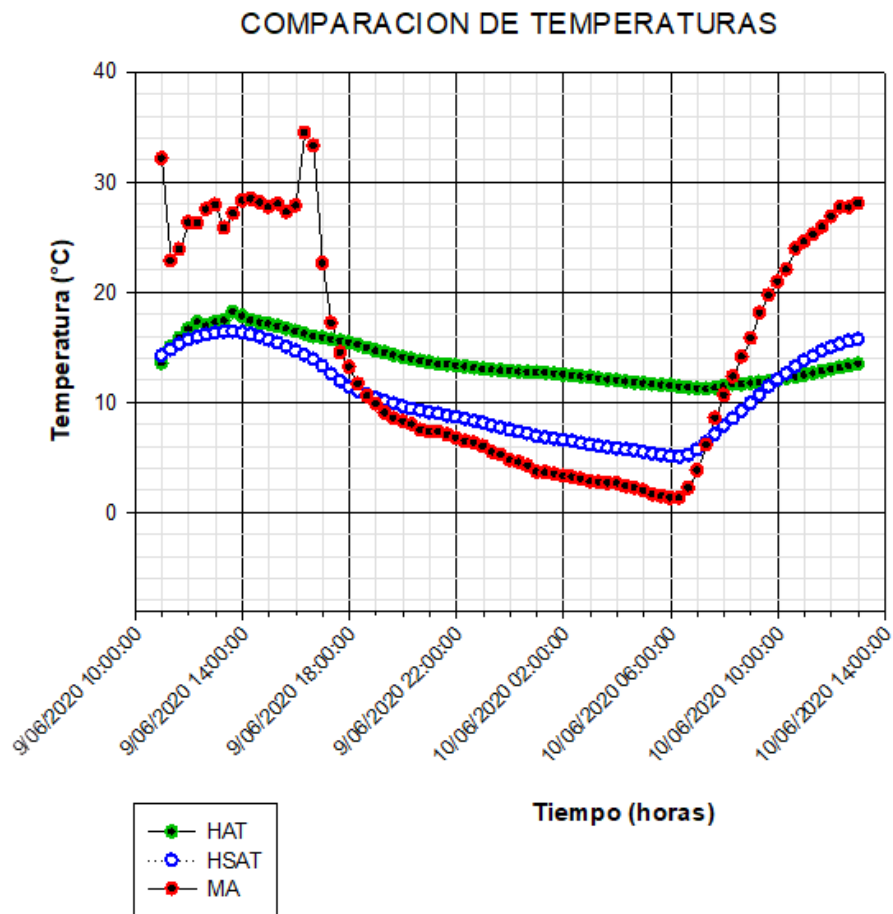


Figura 9. Comportamiento de temperaturas durante un día – Puno, 2020

Tabla 10

Datos tomados de temperatura durante un día – Puno, 2020

Tiempo (min)	HAT Temp, °C	HSAT Temp, °C	MA Temp, °C
9/06/2020 11:00	13.52	14.22	32.12
9/06/2020 11:20	14.98	14.74	22.8
9/06/2020 11:40	15.77	15.25	23.86
9/06/2020 12:00	16.61	15.65	26.28
9/06/2020 12:20	17.22	15.89	26.23
9/06/2020 12:40	16.89	16.11	27.48
9/06/2020 13:00	17.25	16.27	27.87
9/06/2020 13:20	17.37	16.37	25.79
9/06/2020 13:40	18.15	16.37	27.11
9/06/2020 14:00	17.8	16.3	28.27
9/06/2020 14:20	17.39	16.13	28.42
9/06/2020 14:40	17.2	15.89	28.1



9/06/2020 15:00	17.08	15.63	27.68
9/06/2020 15:20	16.87	15.37	27.97
9/06/2020 15:40	16.65	15.01	27.23
9/06/2020 16:00	16.42	14.62	27.83
9/06/2020 16:20	16.18	14.27	34.44
9/06/2020 16:40	15.91	13.86	33.26
9/06/2020 17:00	15.84	13.26	22.58
9/06/2020 17:20	15.65	12.51	17.18
9/06/2020 17:40	15.53	11.88	14.48
9/06/2020 18:00	15.39	11.35	13.16
9/06/2020 18:20	15.15	10.96	11.61
9/06/2020 18:40	14.89	10.64	10.54
9/06/2020 19:00	14.65	10.3	9.8
9/06/2020 19:20	14.46	10.05	8.99
9/06/2020 19:40	14.24	9.83	8.47
9/06/2020 20:00	14.05	9.58	8.22
9/06/2020 20:20	13.88	9.36	7.95
9/06/2020 20:40	13.71	9.21	7.44
9/06/2020 21:00	13.57	9.01	7.27
9/06/2020 21:20	13.43	8.92	7.27
9/06/2020 21:40	13.4	8.74	6.99
9/06/2020 22:00	13.28	8.62	6.69
9/06/2020 22:20	13.18	8.42	6.41
9/06/2020 22:40	13.09	8.24	6.26
9/06/2020 23:00	12.99	8.07	5.95
9/06/2020 23:20	12.92	7.82	5.41
9/06/2020 23:40	12.85	7.64	5.18
10/06/2020 00:00	12.77	7.44	4.71
10/06/2020 00:20	12.7	7.27	4.53
10/06/2020 00:40	12.68	7.12	4.19
10/06/2020 01:00	12.65	6.89	3.64
10/06/2020 01:20	12.61	6.76	3.59
10/06/2020 01:40	12.56	6.64	3.46
10/06/2020 02:00	12.46	6.51	3.27
10/06/2020 02:20	12.36	6.41	3.17
10/06/2020 02:40	12.29	6.23	2.98
10/06/2020 03:00	12.22	6.1	2.74
10/06/2020 03:20	12.1	5.97	2.69
10/06/2020 03:40	12	5.85	2.61
10/06/2020 04:00	11.93	5.77	2.58
10/06/2020 04:20	11.83	5.67	2.32
10/06/2020 04:40	11.73	5.57	2.18
10/06/2020 05:00	11.66	5.44	1.94
10/06/2020 05:20	11.59	5.28	1.59
10/06/2020 05:40	11.52	5.15	1.43
10/06/2020 06:00	11.49	5.05	1.26

10/06/2020 06:20	11.37	4.97	1.26
10/06/2020 06:40	11.27	5.15	2.16
10/06/2020 07:00	11.2	5.64	3.77
10/06/2020 07:20	11.18	6.28	6.08
10/06/2020 07:40	11.25	7.04	8.52
10/06/2020 08:00	11.39	7.79	10.59
10/06/2020 08:20	11.59	8.47	12.29
10/06/2020 08:40	11.59	9.14	14.1
10/06/2020 09:00	11.69	9.85	15.8
10/06/2020 09:20	11.76	10.61	18.08
10/06/2020 09:40	11.83	11.37	19.67
10/06/2020 10:00	11.98	12	20.91
10/06/2020 10:20	12.12	12.56	22.01
10/06/2020 10:40	12.27	13.21	23.91
10/06/2020 11:00	12.41	13.76	24.56
10/06/2020 11:20	12.58	14.17	25.21
10/06/2020 11:40	12.77	14.62	25.87
10/06/2020 12:00	12.94	14.96	26.82
10/06/2020 12:20	13.11	15.27	27.7
10/06/2020 12:40	13.28	15.53	27.65
10/06/2020 13:00	13.45	15.68	28.02

---

En la figura 10, se muestra el comportamiento de las temperaturas para un tiempo de tres días. En donde se puede apreciar las curvas que describen en la gráfica, para cada día, es similar a las curvas que se han analizado en la figura 9. La curva verde que caracteriza el comportamiento de HAT es de primordial importancia para lograr confort térmico dentro de la habitación; se aprecia que entre 18:00 horas hasta 06:00 horas del día siguiente, cuyas pendientes de caída son similares. Las pendientes de caída nos avizoran que durante las horas nocturnas hay pérdidas de energía térmica dentro de HAT, lo cual debe ser controlado mediante materiales aislantes que sean eficientes.

### COMPARACION DE TEMPERATURAS

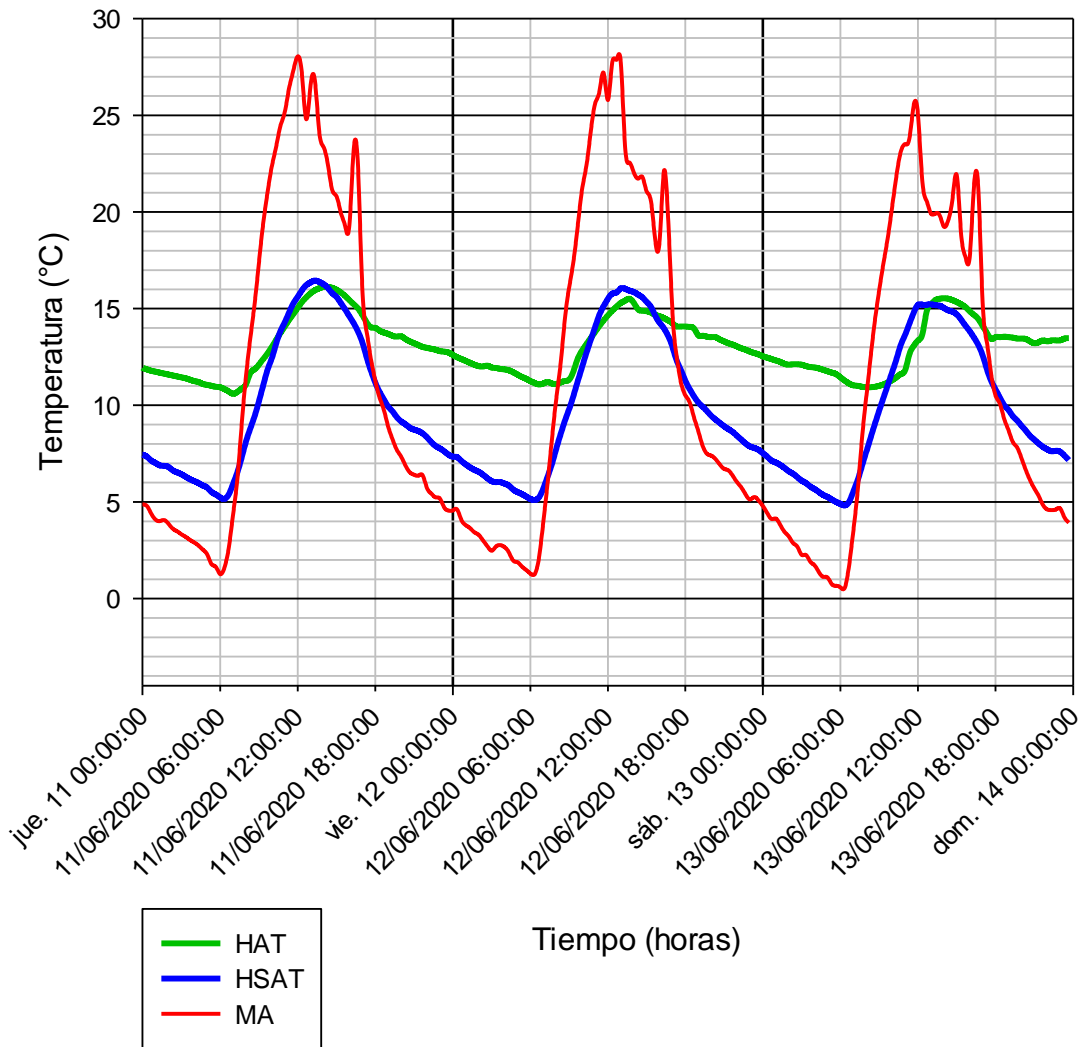


Figura 10. Comportamiento de temperaturas durante tres días – Puno, 2020

Tabla 11

*Datos registrados de temperatura durante tres días – Puno, 2020*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>HAT Temp, °C</b>	<b>HSAT Temp, °C</b>	<b>MA Temp, °C</b>
11/06/2020 00:00	11.93	7.44	4.87
11/06/2020 00:20	11.86	7.34	4.79
11/06/2020 00:40	11.78	7.14	4.4
11/06/2020 01:00	11.73	7.02	4.09
11/06/2020 01:20	11.69	6.89	4.01
11/06/2020 01:40	11.64	6.86	4.06
11/06/2020 02:00	11.59	6.81	3.88
11/06/2020 02:20	11.54	6.64	3.62
11/06/2020 02:40	11.49	6.53	3.49
11/06/2020 03:00	11.44	6.43	3.33
11/06/2020 03:20	11.39	6.31	3.19
11/06/2020 03:40	11.32	6.18	3.04
11/06/2020 04:00	11.25	6.08	2.9
11/06/2020 04:20	11.2	5.97	2.74
11/06/2020 04:40	11.1	5.85	2.53
11/06/2020 05:00	11.05	5.74	2.29
11/06/2020 05:20	11	5.51	1.78
11/06/2020 05:40	10.96	5.39	1.64
11/06/2020 06:00	10.93	5.23	1.26
11/06/2020 06:20	10.83	5.15	1.59
11/06/2020 06:40	10.71	5.39	2.61
11/06/2020 07:00	10.59	5.92	4.32
11/06/2020 07:20	10.69	6.53	6.2
11/06/2020 07:40	10.86	7.29	8.97
11/06/2020 08:00	11.08	8.12	11.49
11/06/2020 08:20	11.66	8.79	13.45
11/06/2020 08:40	11.86	9.44	15.25
11/06/2020 09:00	12.1	10.2	17.37
11/06/2020 09:20	12.39	11.03	19.41
11/06/2020 09:40	12.68	11.83	21.01
11/06/2020 10:00	13.02	12.44	22.37
11/06/2020 10:20	13.38	13.18	23.38
11/06/2020 10:40	13.74	13.83	24.46
11/06/2020 11:00	14.07	14.29	25.16
11/06/2020 11:20	14.41	14.79	26.4
11/06/2020 11:40	14.72	15.27	27.33
11/06/2020 12:00	15.03	15.6	28.05
11/06/2020 12:20	15.34	15.96	27.11
11/06/2020 12:40	15.58	16.22	24.8
11/06/2020 13:00	15.8	16.37	26.57
11/06/2020 13:20	15.96	16.46	26.79



11/06/2020 13:40	16.06	16.39	24.15
11/06/2020 14:00	16.13	16.27	23.38
11/06/2020 14:20	16.13	16.08	22.47
11/06/2020 14:40	16.08	15.8	21.15
11/06/2020 15:00	15.99	15.6	20.82
11/06/2020 15:20	15.84	15.29	19.96
11/06/2020 15:40	15.65	14.96	19.29
11/06/2020 16:00	15.44	14.6	19.32
11/06/2020 16:20	15.22	14.24	23.26
11/06/2020 16:40	15.01	13.81	22.35
11/06/2020 17:00	14.67	13.26	16.06
11/06/2020 17:20	14.29	12.49	13.81
11/06/2020 17:40	14.03	11.78	12.36
11/06/2020 18:00	14	11.18	11.27
11/06/2020 18:20	13.86	10.69	10.39
11/06/2020 18:40	13.76	10.3	9.76
11/06/2020 19:00	13.69	9.93	8.89
11/06/2020 19:20	13.59	9.68	8.24
11/06/2020 19:40	13.55	9.39	7.69
11/06/2020 20:00	13.57	9.16	7.34
11/06/2020 20:20	13.43	9.01	6.89
11/06/2020 20:40	13.31	8.84	6.53
11/06/2020 21:00	13.21	8.74	6.41
11/06/2020 21:20	13.11	8.67	6.36
11/06/2020 21:40	13.02	8.54	6.38
11/06/2020 22:00	12.97	8.34	5.72
11/06/2020 22:20	12.92	8.09	5.44
11/06/2020 22:40	12.87	7.9	5.23
11/06/2020 23:00	12.8	7.77	5.18
11/06/2020 23:20	12.77	7.62	4.71
11/06/2020 23:40	12.73	7.44	4.56
12/06/2020 00:00	12.61	7.34	4.56
12/06/2020 00:20	12.49	7.32	4.61
12/06/2020 00:40	12.39	7.12	4.06
12/06/2020 01:00	12.29	6.94	3.8
12/06/2020 01:20	12.19	6.79	3.64
12/06/2020 01:40	12.1	6.66	3.43
12/06/2020 02:00	12.03	6.56	3.3
12/06/2020 02:20	12	6.41	3.01
12/06/2020 02:40	12.05	6.23	2.72
12/06/2020 03:00	11.95	6.08	2.48
12/06/2020 03:20	11.93	6.03	2.69
12/06/2020 03:40	11.88	6.03	2.77
12/06/2020 04:00	11.86	5.95	2.66
12/06/2020 04:20	11.81	5.85	2.4
12/06/2020 04:40	11.71	5.64	1.97



12/06/2020 05:00	11.59	5.51	1.89
12/06/2020 05:20	11.47	5.41	1.67
12/06/2020 05:40	11.37	5.28	1.48
12/06/2020 06:00	11.25	5.15	1.29
12/06/2020 06:20	11.15	5.1	1.26
12/06/2020 06:40	11.08	5.23	2.1
12/06/2020 07:00	11.13	5.69	3.96
12/06/2020 07:20	11.2	6.31	5.97
12/06/2020 07:40	11.13	6.96	8.24
12/06/2020 08:00	11.1	7.74	10.32
12/06/2020 08:20	11.18	8.49	12.12
12/06/2020 08:40	11.25	9.19	14.43
12/06/2020 09:00	11.32	9.8	16.11
12/06/2020 09:20	11.76	10.49	17.46
12/06/2020 09:40	12.41	11.25	19.29
12/06/2020 10:00	12.82	11.98	21.17
12/06/2020 10:20	13.16	12.7	22.39
12/06/2020 10:40	13.47	13.38	24.15
12/06/2020 11:00	13.79	14.03	25.6
12/06/2020 11:20	14.1	14.67	26.21
12/06/2020 11:40	14.39	15.13	27.21
12/06/2020 12:00	14.65	15.51	25.79
12/06/2020 12:20	14.89	15.77	27.75
12/06/2020 12:40	15.1	15.84	27.87
12/06/2020 13:00	15.29	16.06	27.73
12/06/2020 13:20	15.41	16.03	23.3
12/06/2020 13:40	15.51	15.94	22.56
12/06/2020 14:00	15.29	15.87	22.03
12/06/2020 14:20	14.96	15.72	21.72
12/06/2020 14:40	14.89	15.58	21.82
12/06/2020 15:00	14.86	15.34	21.06
12/06/2020 15:20	14.79	15.08	20.53
12/06/2020 15:40	14.67	14.62	18.51
12/06/2020 16:00	14.6	14.27	18.53
12/06/2020 16:20	14.51	13.98	22.13
12/06/2020 16:40	14.39	13.57	19.53
12/06/2020 17:00	14.24	13.02	14.79
12/06/2020 17:20	14.07	12.32	12.51
12/06/2020 17:40	14.07	11.81	11.15
12/06/2020 18:00	14.07	11.27	10.52
12/06/2020 18:20	14.05	10.83	10.15
12/06/2020 18:40	13.98	10.47	9.39
12/06/2020 19:00	13.62	10.15	8.67
12/06/2020 19:20	13.59	9.93	7.92
12/06/2020 19:40	13.55	9.71	7.49
12/06/2020 20:00	13.52	9.46	7.39



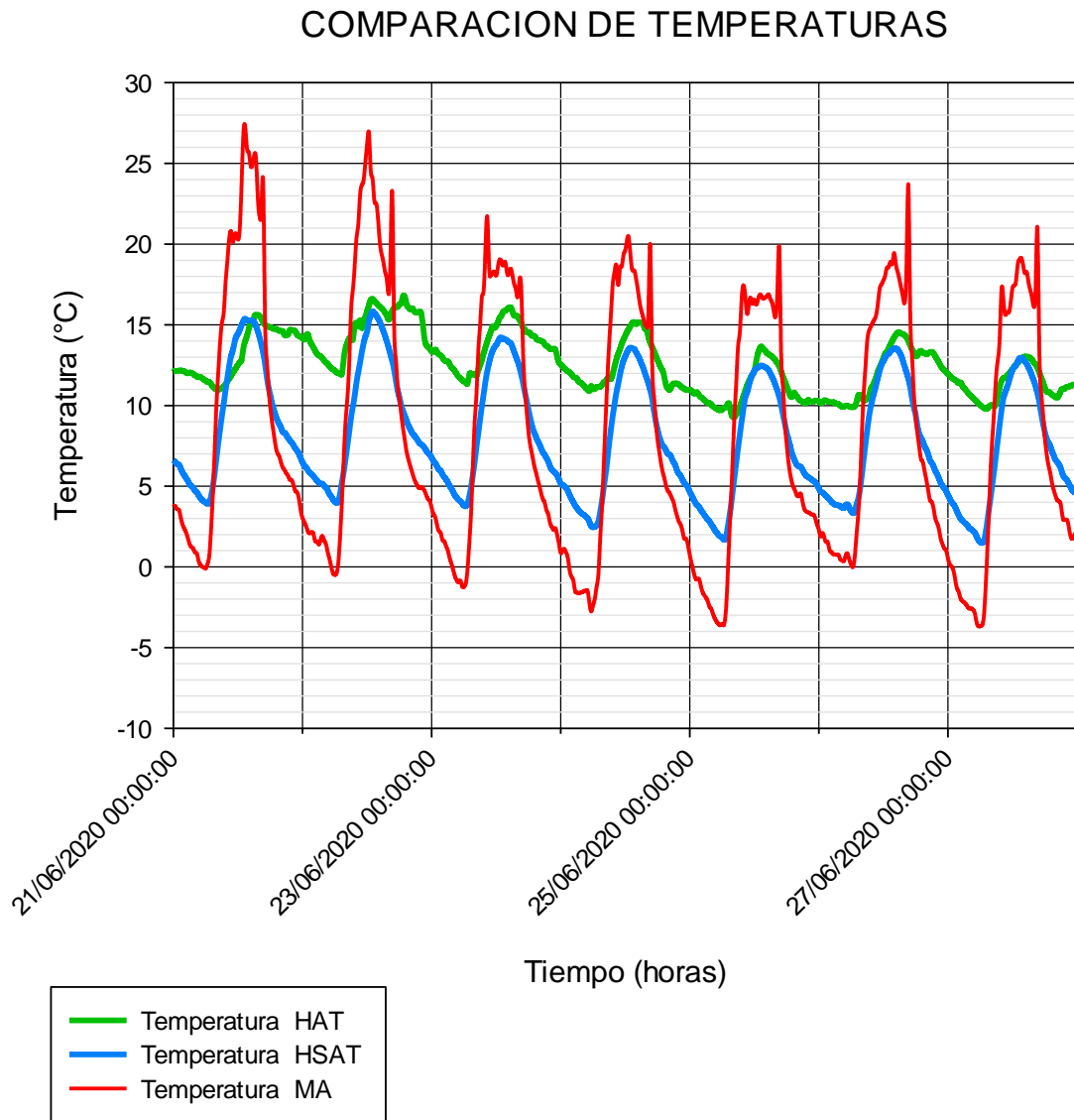


12/06/2020 20:20	13.52	9.26	7.22
12/06/2020 20:40	13.4	9.09	6.94
12/06/2020 21:00	13.31	8.92	6.71
12/06/2020 21:20	13.21	8.77	6.64
12/06/2020 21:40	13.14	8.62	6.36
12/06/2020 22:00	13.04	8.42	6.03
12/06/2020 22:20	12.94	8.22	5.74
12/06/2020 22:40	12.87	8.02	5.39
12/06/2020 23:00	12.77	7.87	5.13
12/06/2020 23:20	12.7	7.79	5.26
12/06/2020 23:40	12.63	7.69	5.08
13/06/2020 00:00	12.53	7.52	4.79
13/06/2020 00:20	12.46	7.34	4.43
13/06/2020 00:40	12.39	7.14	4.12
13/06/2020 01:00	12.32	7.04	4.14
13/06/2020 01:20	12.24	6.91	3.83
13/06/2020 01:40	12.15	6.76	3.46
13/06/2020 02:00	12.1	6.59	3.22
13/06/2020 02:20	12.12	6.46	2.88
13/06/2020 02:40	12.12	6.28	2.69
13/06/2020 03:00	12.1	6.1	2.26
13/06/2020 03:20	12.03	5.97	2.26
13/06/2020 03:40	11.98	5.8	1.91
13/06/2020 04:00	11.95	5.67	1.72
13/06/2020 04:20	11.9	5.51	1.37
13/06/2020 04:40	11.83	5.36	1.13
13/06/2020 05:00	11.76	5.26	1.1
13/06/2020 05:20	11.69	5.13	0.74
13/06/2020 05:40	11.61	5	0.66
13/06/2020 06:00	11.44	4.9	0.58
13/06/2020 06:20	11.27	4.82	0.55
13/06/2020 06:40	11.13	5	1.7
13/06/2020 07:00	11.03	5.54	3.51
13/06/2020 07:20	11	6.13	5.57
13/06/2020 07:40	10.96	6.86	8.27
13/06/2020 08:00	10.93	7.59	10.44
13/06/2020 08:20	10.93	8.32	12.49
13/06/2020 08:40	10.96	9.04	14.39
13/06/2020 09:00	11	9.73	15.96
13/06/2020 09:20	11.08	10.39	17.37
13/06/2020 09:40	11.18	11.05	18.7
13/06/2020 10:00	11.3	11.71	20.27
13/06/2020 10:20	11.44	12.39	21.89
13/06/2020 10:40	11.61	13.11	23.11
13/06/2020 11:00	11.81	13.64	23.52
13/06/2020 11:20	12.63	14.22	23.81

13/06/2020 11:40	13.06	14.79	25.53
13/06/2020 12:00	13.35	15.2	25.04
13/06/2020 12:20	13.67	15.2	21.6
13/06/2020 12:40	14.84	15.2	20.58
13/06/2020 13:00	15.22	15.22	19.91
13/06/2020 13:20	15.44	15.17	19.91
13/06/2020 13:40	15.51	15.15	19.84
13/06/2020 14:00	15.53	15.03	19.25
13/06/2020 14:20	15.51	14.91	19.58
13/06/2020 14:40	15.44	14.84	20.67
13/06/2020 15:00	15.34	14.7	21.91
13/06/2020 15:20	15.22	14.43	18.87
13/06/2020 15:40	15.08	14.12	17.7
13/06/2020 16:00	14.86	13.83	17.68
13/06/2020 16:20	14.67	13.5	21.37
13/06/2020 16:40	14.46	13.11	21.22
13/06/2020 17:00	14.1	12.58	15.34
13/06/2020 17:20	13.74	11.86	13.23
13/06/2020 17:40	13.43	11.25	11.56
13/06/2020 18:00	13.52	10.81	10.49
13/06/2020 18:20	13.52	10.39	10.08
13/06/2020 18:40	13.55	10	9.29
13/06/2020 19:00	13.52	9.76	8.72
13/06/2020 19:20	13.5	9.44	8.09
13/06/2020 19:40	13.45	9.21	7.82
13/06/2020 20:00	13.45	8.94	7.27
13/06/2020 20:20	13.43	8.69	6.66
13/06/2020 20:40	13.31	8.42	6.13
13/06/2020 21:00	13.21	8.22	5.69
13/06/2020 21:20	13.26	8.02	5.31
13/06/2020 21:40	13.35	7.84	4.84
13/06/2020 22:00	13.31	7.72	4.61
13/06/2020 22:20	13.35	7.62	4.58
13/06/2020 22:40	13.35	7.64	4.61
13/06/2020 23:00	13.35	7.59	4.66
13/06/2020 23:20	13.45	7.39	4.19
13/06/2020 23:40	13.47	7.17	3.93

En la figura 11, se muestra el comportamiento de las temperaturas para una semana. En donde se puede apreciar que el comportamiento de las temperaturas de la HAT, durante las horas nocturnas, son similares para cada día. Las caídas de temperatura durante la

noche indican que hay pérdidas de energía térmica dentro de HAT; lo cual debe ser superada, tal como se ha explicado en la figura 10.



*Figura 11.* Comportamiento de temperaturas durante una semana – Puno, 2020

Tabla 12

*Datos registrados de temperatura durante una semana – Puno, 2020*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>HAT Temp. °C</b>	<b>HSAT Temp. °C</b>	<b>MA Temp. °C</b>
21/06/2020 00:00	12.12	6.59	3.75
21/06/2020 00:20	12.15	6.51	3.75
21/06/2020 00:40	12.15	6.36	3.56
21/06/2020 01:00	12.17	6.33	3.54
21/06/2020 01:20	12.19	6.1	3.06
21/06/2020 01:40	12.15	5.85	2.64
21/06/2020 02:00	12.12	5.67	2.37
21/06/2020 02:20	12.05	5.49	2.13
21/06/2020 02:40	12	5.33	1.78
21/06/2020 03:00	12.05	5.1	1.4
21/06/2020 03:20	12.03	5	1.23
21/06/2020 03:40	11.95	4.9	1.13
21/06/2020 04:00	11.88	4.71	0.88
21/06/2020 04:20	11.81	4.64	0.82
21/06/2020 04:40	11.76	4.43	0.36
21/06/2020 05:00	11.78	4.27	0.13
21/06/2020 05:20	11.69	4.12	-4.16E-03
21/06/2020 05:40	11.61	4.06	-0.03
21/06/2020 06:00	11.54	3.96	-0.12
21/06/2020 06:20	11.47	3.91	0.19
21/06/2020 06:40	11.47	3.96	0.74
21/06/2020 07:00	11.32	4.4	2.48
21/06/2020 07:20	11.18	5.02	4.69
21/06/2020 07:40	11.05	5.87	7.42
21/06/2020 08:00	11	6.79	10.2
21/06/2020 08:20	10.98	7.69	12.15
21/06/2020 08:40	11.03	8.57	13.98
21/06/2020 09:00	11.1	9.41	15.15
21/06/2020 09:20	11.2	10.15	15.77
21/06/2020 09:40	11.32	10.96	17.58
21/06/2020 10:00	11.49	11.69	18.91
21/06/2020 10:20	11.66	12.44	20.29
21/06/2020 10:40	11.83	13.04	20.79
21/06/2020 11:00	12.03	13.4	20.15
21/06/2020 11:20	12.19	13.91	20.56
21/06/2020 11:40	12.36	14.29	20.6
21/06/2020 12:00	12.53	14.46	20.27
21/06/2020 12:20	12.68	14.72	21.1
21/06/2020 12:40	12.87	15.01	23.91
21/06/2020 13:00	13.59	15.25	26.94



21/06/2020 13:20	14	15.39	27.26
21/06/2020 13:40	14.34	15.27	25.91
21/06/2020 14:00	14.77	15.29	25.67
21/06/2020 14:20	15.06	15.27	24.87
21/06/2020 14:40	15.06	15.27	24.92
21/06/2020 15:00	15.51	15.17	25.5
21/06/2020 15:20	15.63	14.94	25.31
21/06/2020 15:40	15.63	14.6	22.87
21/06/2020 16:00	15.56	14.22	21.72
21/06/2020 16:20	15.39	13.76	22.08
21/06/2020 16:40	15.15	13.26	23.86
21/06/2020 17:00	15.01	12.63	15.65
21/06/2020 17:20	14.94	11.81	12.8
21/06/2020 17:40	14.89	11.13	11.03
21/06/2020 18:00	14.84	10.61	9.85
21/06/2020 18:20	14.82	10.12	8.94
21/06/2020 18:40	14.74	9.73	8.19
21/06/2020 19:00	14.77	9.36	7.44
21/06/2020 19:20	14.7	9.06	7.02
21/06/2020 19:40	14.62	8.84	6.84
21/06/2020 20:00	14.62	8.62	6.43
21/06/2020 20:20	14.6	8.34	6.15
21/06/2020 20:40	14.36	8.32	5.97
21/06/2020 21:00	14.36	8.14	5.77
21/06/2020 21:20	14.43	7.97	5.62
21/06/2020 21:40	14.7	7.82	5.39
21/06/2020 22:00	14.67	7.69	5.36
21/06/2020 22:20	14.67	7.52	5.02
21/06/2020 22:40	14.58	7.32	4.69
21/06/2020 23:00	14.39	7.19	4.61
21/06/2020 23:20	14.31	6.99	4.17
21/06/2020 23:40	14.24	6.71	3.46
22/06/2020 00:00	14.22	6.46	3.01
22/06/2020 00:20	14.07	6.26	2.74
22/06/2020 00:40	14.36	6.15	2.5
22/06/2020 01:00	14.41	5.97	2.18
22/06/2020 01:20	14.03	5.82	2.07
22/06/2020 01:40	13.81	5.74	2.16
22/06/2020 02:00	13.59	5.62	2.05
22/06/2020 02:20	13.4	5.46	1.59
22/06/2020 02:40	13.21	5.36	1.59
22/06/2020 03:00	13.11	5.21	1.37
22/06/2020 03:20	13.04	5.15	1.67
22/06/2020 03:40	12.92	5.15	1.91
22/06/2020 04:00	12.8	5.02	1.64
22/06/2020 04:20	12.68	4.92	1.43



22/06/2020 04:40	12.58	4.74	0.91
22/06/2020 05:00	12.44	4.51	0.49
22/06/2020 05:20	12.32	4.35	-0.03
22/06/2020 05:40	12.24	4.17	-0.4
22/06/2020 06:00	12.15	4.04	-0.51
22/06/2020 06:20	12.05	3.96	-0.4
22/06/2020 06:40	12	4.09	0.36
22/06/2020 07:00	11.95	4.61	2.1
22/06/2020 07:20	12.03	5.28	4.27
22/06/2020 07:40	12.97	5.95	6.94
22/06/2020 08:00	13.59	6.74	9.09
22/06/2020 08:20	13.91	7.54	10.52
22/06/2020 08:40	14.17	8.39	12.7
22/06/2020 09:00	14.24	9.26	15.89
22/06/2020 09:20	14.07	9.93	17.15
22/06/2020 09:40	14.91	10.59	18.58
22/06/2020 10:00	15.13	11.39	20.32
22/06/2020 10:20	14.91	12.05	21.2
22/06/2020 10:40	15.29	12.65	22.99
22/06/2020 11:00	14.79	13.31	23.66
22/06/2020 11:20	15.25	13.86	23.95
22/06/2020 11:40	15.49	14.29	25.09
22/06/2020 12:00	15.87	14.6	26.26
22/06/2020 12:20	16.22	15.25	26.89
22/06/2020 12:40	16.56	15.6	24.53
22/06/2020 13:00	16.61	15.84	24.1
22/06/2020 13:20	16.49	15.72	22.7
22/06/2020 13:40	16.37	15.6	22.54
22/06/2020 14:00	16.22	15.41	21.65
22/06/2020 14:20	16.13	15.2	20.17
22/06/2020 14:40	16.03	14.91	19.41
22/06/2020 15:00	15.91	14.62	18.94
22/06/2020 15:20	15.75	14.31	18.27
22/06/2020 15:40	15.56	13.95	17.75
22/06/2020 16:00	15.32	13.57	16.92
22/06/2020 16:20	15.58	13.16	19.17
22/06/2020 16:40	15.87	12.77	23.23
22/06/2020 17:00	16.03	12.24	15.34
22/06/2020 17:20	16.15	11.56	12.9
22/06/2020 17:40	16.11	10.96	11.15
22/06/2020 18:00	16.3	10.49	10.39
22/06/2020 18:20	16.34	10	9.46
22/06/2020 18:40	16.77	9.66	8.62
22/06/2020 19:00	16.72	9.36	7.84
22/06/2020 19:20	16.27	9.06	7.12
22/06/2020 19:40	16.08	8.77	6.66



22/06/2020 20:00	15.96	8.54	6.26
22/06/2020 20:20	16.03	8.32	5.9
22/06/2020 20:40	15.89	8.17	5.51
22/06/2020 21:00	15.77	8.05	5.23
22/06/2020 21:20	15.8	7.87	5.02
22/06/2020 21:40	15.8	7.69	4.87
22/06/2020 22:00	15.77	7.59	4.95
22/06/2020 22:20	15.08	7.49	4.87
22/06/2020 22:40	14.15	7.37	4.71
22/06/2020 23:00	13.74	7.19	4.43
22/06/2020 23:20	13.62	7.04	4.19
22/06/2020 23:40	13.5	6.94	4.06
23/06/2020 00:00	13.38	6.76	3.64
23/06/2020 00:20	13.33	6.56	3.27
23/06/2020 00:40	13.47	6.41	3.06
23/06/2020 01:00	13.31	6.23	2.58
23/06/2020 01:20	13.18	6.03	2.21
23/06/2020 01:40	13.09	5.95	2.1
23/06/2020 02:00	12.97	5.72	1.64
23/06/2020 02:20	12.82	5.57	1.59
23/06/2020 02:40	12.75	5.41	1.29
23/06/2020 03:00	12.75	5.23	1.02
23/06/2020 03:20	12.56	5.02	0.55
23/06/2020 03:40	12.36	4.84	0.19
23/06/2020 04:00	12.27	4.64	-0.2
23/06/2020 04:20	12.12	4.43	-0.59
23/06/2020 04:40	11.95	4.27	-0.85
23/06/2020 05:00	11.78	4.14	-0.96
23/06/2020 05:20	11.69	4.06	-0.85
23/06/2020 05:40	11.56	3.93	-1.21
23/06/2020 06:00	11.49	3.77	-1.24
23/06/2020 06:20	11.42	3.75	-1.04
23/06/2020 06:40	11.39	3.91	-0.14
23/06/2020 07:00	11.93	4.38	1.53
23/06/2020 07:20	11.98	4.97	3.46
23/06/2020 07:40	11.9	5.72	6.38
23/06/2020 08:00	11.98	6.53	9.04
23/06/2020 08:20	11.86	7.44	10.76
23/06/2020 08:40	12.22	8.32	13.45
23/06/2020 09:00	12.51	9.16	14.98
23/06/2020 09:20	12.85	9.98	16.75
23/06/2020 09:40	13.26	10.74	17.15
23/06/2020 10:00	13.62	11.49	19.77
23/06/2020 10:20	13.98	12.15	21.7
23/06/2020 10:40	14.31	12.65	18.65
23/06/2020 11:00	14.6	13.09	18.08



23/06/2020 11:20	14.91	13.4	18.22
23/06/2020 11:40	14.82	13.62	18.27
23/06/2020 12:00	14.94	13.76	18.06
23/06/2020 12:20	15.2	13.98	18.65
23/06/2020 12:40	15.46	14.17	19.06
23/06/2020 13:00	15.6	14.22	18.89
23/06/2020 13:20	15.84	14.12	18.68
23/06/2020 13:40	15.87	14.1	18.91
23/06/2020 14:00	15.96	14.03	18.22
23/06/2020 14:20	16.06	13.93	18.15
23/06/2020 14:40	16.08	13.88	18.49
23/06/2020 15:00	15.84	13.64	18.1
23/06/2020 15:20	15.56	13.33	17.53
23/06/2020 15:40	15.58	13.02	17.15
23/06/2020 16:00	15.51	12.73	16.72
23/06/2020 16:20	15.32	12.36	17.82
23/06/2020 16:40	15.1	11.9	17.13
23/06/2020 17:00	14.82	11.39	13.21
23/06/2020 17:20	14.7	10.81	10.98
23/06/2020 17:40	14.53	10.27	9.58
23/06/2020 18:00	14.55	9.73	8.34
23/06/2020 18:20	14.46	9.21	7.52
23/06/2020 18:40	14.31	8.74	6.96
23/06/2020 19:00	14.34	8.37	6.36
23/06/2020 19:20	14.19	8.12	5.92
23/06/2020 19:40	14.07	7.82	5.46
23/06/2020 20:00	14.05	7.62	5.05
23/06/2020 20:20	14	7.34	4.58
23/06/2020 20:40	13.95	7.09	4.19
23/06/2020 21:00	13.81	6.94	3.98
23/06/2020 21:20	13.69	6.74	3.51
23/06/2020 21:40	13.64	6.53	3.27
23/06/2020 22:00	13.5	6.23	2.72
23/06/2020 22:20	13.52	6.03	2.48
23/06/2020 22:40	13.52	5.9	2.29
23/06/2020 23:00	13.47	5.82	2.4
23/06/2020 23:20	13.02	5.67	1.97
23/06/2020 23:40	12.68	5.41	1.43
24/06/2020 00:00	12.53	5.15	0.85
24/06/2020 00:20	12.41	5.08	1.04
24/06/2020 00:40	12.29	5	1.1
24/06/2020 01:00	12.22	4.87	0.88
24/06/2020 01:20	12.12	4.71	0.52
24/06/2020 01:40	12.05	4.43	-0.26
24/06/2020 02:00	11.93	4.19	-0.62
24/06/2020 02:20	11.78	4.01	-0.85





24/06/2020 02:40	11.73	3.8	-1.5
24/06/2020 03:00	11.69	3.64	-1.58
24/06/2020 03:20	11.49	3.51	-1.64
24/06/2020 03:40	11.42	3.38	-1.58
24/06/2020 04:00	11.35	3.27	-1.58
24/06/2020 04:20	11.22	3.22	-1.47
24/06/2020 04:40	11.08	3.12	-1.5
24/06/2020 05:00	10.98	3.01	-1.5
24/06/2020 05:20	10.91	2.77	-2.28
24/06/2020 05:40	11.22	2.53	-2.77
24/06/2020 06:00	11.03	2.45	-2.39
24/06/2020 06:20	11.05	2.48	-1.99
24/06/2020 06:40	11.15	2.56	-1.24
24/06/2020 07:00	11.15	2.8	-0.42
24/06/2020 07:20	11.18	3.41	1.78
24/06/2020 07:40	11.27	4.09	3.75
24/06/2020 08:00	11.44	4.95	6.36
24/06/2020 08:20	11.52	5.72	9.06
24/06/2020 08:40	11.71	6.66	11.71
24/06/2020 09:00	11.66	7.64	13.88
24/06/2020 09:20	11.66	8.54	15.7
24/06/2020 09:40	11.98	9.39	17.53
24/06/2020 10:00	12.41	10.1	18.27
24/06/2020 10:20	12.87	10.81	18.7
24/06/2020 10:40	13.21	11.35	17.46
24/06/2020 11:00	13.5	11.9	18.51
24/06/2020 11:20	13.83	12.41	18.6
24/06/2020 11:40	14.1	12.8	19.34
24/06/2020 12:00	14.34	13.06	19.65
24/06/2020 12:20	14.58	13.33	20.32
24/06/2020 12:40	14.74	13.5	20.41
24/06/2020 13:00	14.94	13.59	19.29
24/06/2020 13:20	15.1	13.52	18.39
24/06/2020 13:40	15.17	13.52	18.39
24/06/2020 14:00	15.03	13.33	17.91
24/06/2020 14:20	15.13	13.14	17.25
24/06/2020 14:40	15.17	12.92	16.46
24/06/2020 15:00	15.15	12.63	15.89
24/06/2020 15:20	15.1	12.36	15.49
24/06/2020 15:40	14.77	12.03	15.03
24/06/2020 16:00	14.67	11.71	14.94
24/06/2020 16:20	14.24	11.37	15.87
24/06/2020 16:40	13.91	10.96	20.01
24/06/2020 17:00	13.64	10.47	13.06
24/06/2020 17:20	13.38	9.73	10.69
24/06/2020 17:40	13.11	9.09	9.16



24/06/2020 18:00	12.85	8.54	7.95
24/06/2020 18:20	12.58	8.09	7.17
24/06/2020 18:40	12.34	7.74	6.43
24/06/2020 19:00	12.15	7.49	5.85
24/06/2020 19:20	11.69	7.37	5.44
24/06/2020 19:40	11.2	7.17	4.95
24/06/2020 20:00	11.05	6.99	4.69
24/06/2020 20:20	10.98	6.94	4.53
24/06/2020 20:40	11.22	6.71	4.27
24/06/2020 21:00	11.37	6.48	4.01
24/06/2020 21:20	11.37	6.28	3.54
24/06/2020 21:40	11.37	5.95	3.14
24/06/2020 22:00	11.3	5.77	2.8
24/06/2020 22:20	11.22	5.62	2.61
24/06/2020 22:40	11.1	5.39	2.21
24/06/2020 23:00	11.05	5.21	1.75
24/06/2020 23:20	10.98	5.08	1.75
24/06/2020 23:40	10.98	4.92	1.37
25/06/2020 00:00	10.98	4.66	0.77
25/06/2020 00:20	10.93	4.45	0.25
25/06/2020 00:40	10.81	4.22	-0.23
25/06/2020 01:00	10.74	4.01	-0.65
25/06/2020 01:20	10.83	3.83	-0.79
25/06/2020 01:40	10.69	3.75	-0.73
25/06/2020 02:00	10.54	3.56	-1.07
25/06/2020 02:20	10.47	3.41	-1.5
25/06/2020 02:40	10.34	3.25	-1.73
25/06/2020 03:00	10.27	3.09	-1.9
25/06/2020 03:20	10.17	2.96	-2.1
25/06/2020 03:40	10.17	2.82	-2.45
25/06/2020 04:00	10.08	2.64	-2.6
25/06/2020 04:20	9.95	2.48	-2.92
25/06/2020 04:40	9.88	2.29	-3.18
25/06/2020 05:00	9.8	2.13	-3.39
25/06/2020 05:20	9.73	1.99	-3.54
25/06/2020 05:40	9.71	1.89	-3.63
25/06/2020 06:00	9.73	1.83	-3.54
25/06/2020 06:20	9.88	1.7	-3.63
25/06/2020 06:40	9.85	1.75	-3.01
25/06/2020 07:00	10.05	2.29	-1.07
25/06/2020 07:20	10.12	2.98	1.56
25/06/2020 07:40	9.58	3.75	4.01
25/06/2020 08:00	9.29	4.66	6.66
25/06/2020 08:20	9.31	5.57	9.41
25/06/2020 08:40	9.46	6.51	11.49
25/06/2020 09:00	9.68	7.39	13.69



25/06/2020 09:20	9.93	8.22	14.55
25/06/2020 09:40	10.25	9.04	16.61
25/06/2020 10:00	10.59	9.8	17.46
25/06/2020 10:20	10.93	10.52	16.8
25/06/2020 10:40	11.25	10.83	15.68
25/06/2020 11:00	11.49	11.22	16.25
25/06/2020 11:20	11.73	11.64	16.68
25/06/2020 11:40	11.93	11.9	16.3
25/06/2020 12:00	12.12	12.15	16.58
25/06/2020 12:20	12.68	12.27	16.27
25/06/2020 12:40	13.21	12.36	16.51
25/06/2020 13:00	13.52	12.44	16.87
25/06/2020 13:20	13.67	12.49	16.8
25/06/2020 13:40	13.5	12.44	16.63
25/06/2020 14:00	13.43	12.39	16.7
25/06/2020 14:20	13.26	12.32	16.75
25/06/2020 14:40	13.18	12.19	16.89
25/06/2020 15:00	13.11	12	16.61
25/06/2020 15:20	13.02	11.78	16.37
25/06/2020 15:40	12.92	11.52	15.77
25/06/2020 16:00	12.77	11.22	15.56
25/06/2020 16:20	12.63	10.91	17.34
25/06/2020 16:40	12.44	10.54	19.75
25/06/2020 17:00	12.12	10.05	13.35
25/06/2020 17:20	11.81	9.48	11.2
25/06/2020 17:40	11.52	8.94	9.11
25/06/2020 18:00	11.22	8.39	7.72
25/06/2020 18:20	10.93	7.95	6.61
25/06/2020 18:40	10.64	7.52	5.8
25/06/2020 19:00	10.54	7.07	5.23
25/06/2020 19:20	10.81	6.74	4.9
25/06/2020 19:40	10.69	6.48	4.66
25/06/2020 20:00	10.54	6.28	4.38
25/06/2020 20:20	10.39	6.23	4.45
25/06/2020 20:40	10.3	6.18	4.53
25/06/2020 21:00	10.25	6	4.01
25/06/2020 21:20	10.17	5.8	3.59
25/06/2020 21:40	10.15	5.64	3.43
25/06/2020 22:00	10.34	5.57	3.38
25/06/2020 22:20	10.27	5.49	3.33
25/06/2020 22:40	10.27	5.41	3.22
25/06/2020 23:00	10.25	5.33	3.25
25/06/2020 23:20	10.3	5.23	3.04
25/06/2020 23:40	10.3	5.08	2.64
26/06/2020 00:00	10.27	4.87	2.32
26/06/2020 00:20	10.15	4.66	1.89



26/06/2020 00:40	10.2	4.61	2.1
26/06/2020 01:00	10.32	4.51	1.86
26/06/2020 01:20	10.32	4.4	1.53
26/06/2020 01:40	10.25	4.3	1.53
26/06/2020 02:00	10.22	4.17	1.04
26/06/2020 02:20	10.22	4.04	0.93
26/06/2020 02:40	10.22	3.93	0.8
26/06/2020 03:00	10.17	3.85	0.77
26/06/2020 03:20	10.12	3.83	0.74
26/06/2020 03:40	10.1	3.8	0.74
26/06/2020 04:00	10	3.77	0.47
26/06/2020 04:20	9.93	3.67	0.41
26/06/2020 04:40	9.93	3.64	0.36
26/06/2020 05:00	10	3.8	0.69
26/06/2020 05:20	9.98	3.88	0.82
26/06/2020 05:40	9.95	3.67	0.47
26/06/2020 06:00	9.9	3.46	0.16
26/06/2020 06:20	9.9	3.33	-0.03
26/06/2020 06:40	9.93	3.41	0.52
26/06/2020 07:00	10.2	3.8	1.89
26/06/2020 07:20	10.61	4.19	3.19
26/06/2020 07:40	10.66	4.79	5.13
26/06/2020 08:00	10.52	5.64	8.02
26/06/2020 08:20	10.32	6.64	10.64
26/06/2020 08:40	10.34	7.57	12.32
26/06/2020 09:00	10.44	8.47	13.98
26/06/2020 09:20	10.57	9.29	14.62
26/06/2020 09:40	11.03	9.93	14.89
26/06/2020 10:00	11.22	10.42	15.13
26/06/2020 10:20	11.47	10.86	15.32
26/06/2020 10:40	11.76	11.27	15.6
26/06/2020 11:00	12.12	11.73	16.32
26/06/2020 11:20	12.36	12.17	17.25
26/06/2020 11:40	12.63	12.53	17.51
26/06/2020 12:00	12.92	12.75	17.75
26/06/2020 12:20	13.21	12.97	18.03
26/06/2020 12:40	13.33	13.14	18.53
26/06/2020 13:00	13.55	13.21	18.58
26/06/2020 13:20	13.79	13.35	18.91
26/06/2020 13:40	14	13.45	18.77
26/06/2020 14:00	14.22	13.55	19.46
26/06/2020 14:20	14.39	13.55	18.77
26/06/2020 14:40	14.53	13.47	18.3
26/06/2020 15:00	14.53	13.31	17.82
26/06/2020 15:20	14.46	13.09	17.25
26/06/2020 15:40	14.43	12.75	16.7



26/06/2020 16:00	14.36	12.39	16.42
26/06/2020 16:20	14.24	12.05	19.03
26/06/2020 16:40	14	11.66	23.69
26/06/2020 17:00	13.74	11.15	15.94
26/06/2020 17:20	13.5	10.47	13.14
26/06/2020 17:40	13.28	9.93	10.79
26/06/2020 18:00	13.06	9.48	9.39
26/06/2020 18:20	13.09	8.77	8.32
26/06/2020 18:40	13.31	8.27	7.47
26/06/2020 19:00	13.4	8	6.69
26/06/2020 19:20	13.28	7.79	6.51
26/06/2020 19:40	13.26	7.47	5.95
26/06/2020 20:00	13.18	7.27	5.41
26/06/2020 20:20	13.23	6.99	4.77
26/06/2020 20:40	13.31	6.61	4.14
26/06/2020 21:00	13.33	6.43	4.01
26/06/2020 21:20	13.23	6.23	3.64
26/06/2020 21:40	13.06	5.95	3.01
26/06/2020 22:00	12.87	5.74	2.72
26/06/2020 22:20	12.68	5.49	2.34
26/06/2020 22:40	12.46	5.21	1.75
26/06/2020 23:00	12.32	5.02	1.43
26/06/2020 23:20	12.19	4.87	1.15
26/06/2020 23:40	12.07	4.71	1.04
27/06/2020 00:00	11.95	4.45	0.55
27/06/2020 00:20	11.86	4.25	0.16
27/06/2020 00:40	11.73	4.04	0.02
27/06/2020 01:00	11.66	3.91	-0.17
27/06/2020 01:20	11.59	3.72	-0.7
27/06/2020 01:40	11.52	3.46	-1.3
27/06/2020 02:00	11.39	3.22	-1.53
27/06/2020 02:20	11.44	3.01	-1.93
27/06/2020 02:40	11.25	2.88	-2.1
27/06/2020 03:00	11.1	2.77	-2.19
27/06/2020 03:20	10.96	2.66	-2.3
27/06/2020 03:40	10.83	2.56	-2.48
27/06/2020 04:00	10.71	2.4	-2.6
27/06/2020 04:20	10.59	2.34	-2.57
27/06/2020 04:40	10.49	2.24	-2.65
27/06/2020 05:00	10.37	2.13	-2.86
27/06/2020 05:20	10.27	1.89	-3.42
27/06/2020 05:40	10.15	1.67	-3.69
27/06/2020 06:00	10.05	1.53	-3.69
27/06/2020 06:20	9.95	1.48	-3.63
27/06/2020 06:40	9.85	1.53	-3.18
27/06/2020 07:00	9.8	2.05	-1.44



27/06/2020 07:20	9.8	2.77	0.91
27/06/2020 07:40	9.93	3.62	3.62
27/06/2020 08:00	10.03	4.4	6.33
27/06/2020 08:20	10.03	5.28	8.27
27/06/2020 08:40	9.95	6.13	10.08
27/06/2020 09:00	10.12	7.07	11.93
27/06/2020 09:20	10.61	7.97	12.92
27/06/2020 09:40	11.15	8.89	14.34
27/06/2020 10:00	11.54	9.76	17.27
27/06/2020 10:20	11.71	10.47	16.53
27/06/2020 10:40	11.71	10.83	15.63
27/06/2020 11:00	11.86	11.13	15.8
27/06/2020 11:20	11.95	11.47	15.75
27/06/2020 11:40	12.12	11.88	16.32
27/06/2020 12:00	12.24	12.19	17.25
27/06/2020 12:20	12.44	12.39	17.44
27/06/2020 12:40	12.53	12.51	17.7
27/06/2020 13:00	12.63	12.75	18.75
27/06/2020 13:20	12.77	12.92	19.06
27/06/2020 13:40	12.9	12.97	19.15
27/06/2020 14:00	12.99	12.87	18.7
27/06/2020 14:20	13.04	12.73	18.2
27/06/2020 14:40	13.04	12.58	18.27
27/06/2020 15:00	13.02	12.36	17.65
27/06/2020 15:20	12.94	12.12	17.13
27/06/2020 15:40	12.82	11.83	16.65
27/06/2020 16:00	12.68	11.54	16.13
27/06/2020 16:20	12.53	11.18	17.51
27/06/2020 16:40	12.36	10.76	21.01
27/06/2020 17:00	12.07	10.25	13.62
27/06/2020 17:20	11.76	9.56	10.86
27/06/2020 17:40	11.47	8.97	9.58
27/06/2020 18:00	11.15	8.42	8.12
27/06/2020 18:20	10.86	7.97	7.12
27/06/2020 18:40	10.86	7.72	6.36
27/06/2020 19:00	10.79	7.52	5.87
27/06/2020 19:20	10.69	7.19	5.26
27/06/2020 19:40	10.61	6.91	4.79
27/06/2020 20:00	10.52	6.64	4.43
27/06/2020 20:20	10.49	6.51	4.14
27/06/2020 20:40	10.64	6.33	4.06
27/06/2020 21:00	10.91	6.1	3.85
27/06/2020 21:20	11.05	5.74	3.12
27/06/2020 21:40	11.03	5.54	2.9
27/06/2020 22:00	11.15	5.44	2.93
27/06/2020 22:20	11.18	5.26	2.74



27/06/2020 22:40	11.2	5.05	2.13
27/06/2020 23:00	11.25	4.82	1.75
27/06/2020 23:20	11.3	4.66	1.8
27/06/2020 23:40	11.32	4.58	2.07

---

## CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos de la *conductividad térmica* de los materiales de construcción de la pared son de 0.43 y 0.055  $W/mK$ ; estos valores son similares a la conductividad térmica del aire cuyo valor es de 0.026  $W/mK$ . Por esta razón el flujo de la energía calorífica del interior de la HAT (habitación acondicionada térmicamente) hacia el MA (medio ambiente) es pequeño. El diseño y los materiales de construcción que se han usado en las partes de la HAT, en donde en la pared se han colocado paneles de k'esana, luego enlucido de yeso; la k'esana funciona como un material aislante debido a su baja conductividad térmica que es 0.055  $W/mK$  y esto es similar a la conductividad térmica del aire.
- La k'esana es utilizado como material de construcción, cuyo *calor específico* es de 2260.38 J/kg K, este valor es mucho mayor que el calor específico de los metales como es el cobre que es muy utilizado en la construcción de viviendas de concreto y que tiene un valor de 390.09 J/kg K.
- La HAT construida con materiales que tiene propiedades termo físicas, obtenidas como la conductividad térmica y el calor específico, permite que el ambiente interior tenga una temperatura media de 12,838 °C, que es superior a las temperaturas medias de la HSAT (habitación sin acondicionamiento térmico) y del MA que son de 8, 673 °C y 9,779 °C.





## RECOMENDACIONES

- En el altiplano peruano se recomienda utilizar la k'esana como material aislante en las viviendas rurales para lograr la satisfacción térmica, en ella aplicar el yeso para el revoque y enlucido de los muros.
- Se recomienda aplicar los resultados de la presente investigación en la construcción de las viviendas rurales en el altiplano peruano, como una alternativa para lograr la satisfacción térmica para sus habitantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anna-maria, V. (2009). Evaluation of a sustainable Greek vernacular settlement and its landscape : Architectural typology and building physics. *Building and Environment*, 44(6), 1095–1106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.026>
- Antonio Holguino Huarza, L. O. M. & K. U. E. C. (2021). Thermal comfort in an adobe room with heat storage system in the andes of Peru. *Proceedings of the 2021 IEEE 28th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2021*, 20(3), 289–300. <https://doi.org/10.1109/INTERCON52678.2021.9533024>
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Baver, Wolfgang y Westfall, G. D. (2009). *Física para ingeniería y ciencias*.
- Carvalho, R., Fernandes, M., & Figueiro, R. (2017). The influence of cork on the thermal insulation properties of home textiles. *Procedia Engineering*, 200, 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.036>
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chapman, A. J. (1984). *Transmision del calor*. Bellisco.
- Corrales Picardo, M. R. (2012). *Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz*. (Tesis de la maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Dershowitz, A. M. (2013). Why I defend the guilty and innocent alike. In *How can You Represent those People?* (pp. 65–71). Pearson Educación. [https://doi.org/10.1057/9781137311955\\_5](https://doi.org/10.1057/9781137311955_5)
- El Azhary, K., Chihab, Y., Mansour, M., Laaroussi, N., & Garoum, M. (2017). Energy Efficiency and Thermal Properties of the Composite Material Clay-straw. *Energy Procedia*, 141, 160–164. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.030>

- Espinoza Paredes, R. L. (2014). *Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticas de calentamiento aplicadas en un módulo de vivienda de san francisco de raymina-ayacucho con el propósito de validarlas como técnicas de estrategias bioclimáticas para viviendas*. (Tesis de la maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Giancoli, D. C. (2006). *Física*. Pearson.
- Givoni, B. (1998). *Consideraciones climáticas en la construcción y el diseño urbano*.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cbLHEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&ots=StW1wn0Ps1&sig=ShWSO1ykhpfSIjtWvz2VPaQoNGc>
- Gómez-Azpeitia, G., Morales, G. B., & Torres, R. P. R. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados/Thermal comfort: two confronted theoretical focuses. *Palapa*, 2(1), 45–57.  
<http://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/palapa/article/view/43>
- Hassanain, A. A., Hokam, E. M., & Mallick, T. K. (2011). Effect of solar storage wall on the passive solar heating constructions. *Energy and Buildings*, 43(2–3), 737–747.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.020>
- Holman, J. P. (1998). *Transferencia de calor* (8va Ed.). España: McGRAW HILL.
- Holman, J. P. (1999). Transferencia de calor por Radiación. In *Transferencia de calor*.  
<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/10/transferencia-de-calor-holman.pdf>
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de la Transferencia de Calor* (p. 8). Prentice Hall.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de transferencia de calor*.
- Kremensas, A., Stapulioniene, R., Vaitkus, S., & Kairyte, A. (2017). Investigations on Physical-mechanical Properties of Effective Thermal Insulation Materials from Fibrous Hemp. *Procedia Engineering*, 172, 586–594.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.069>
- Kumar, M., Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2010). Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India.

- Building and Environment*, 45(2), 320–329.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.009>
- Lamrani, M., Laaroussi, N., Khabbazi, A., Khalfaoui, M., Garoum, M., & Feiz, A. (2017). Experimental study of thermal properties of a new ecological building material based on peanut shells and plaster. *Case Studies in Construction Materials*, 7(July), 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.09.006>
- Machuca, L., Molina, J., & Espinoza, R. (2012). *Estudio climático de Vilcallamas Arriba y análisis de indicadores bioclimáticos de aplicación potencial*.
- Manzano-agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-ortega, A., & García-cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736–755. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>
- Mckelvey, J. P. (1980). *Física para ciencias e ingenierías*. Harla.
- Molina Castillo, J. R. (2016). *Evaluación bioclimática de una vivienda rural alto andina de la comunidad de San francisco de Raymina de Ayacucho*. (Tesis de la maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Molina Fuentes, J. O., & Horn, M. J. (2016). *Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda altoandina para lograr el confort térmico con energía solar*. December.
- Nayelly, B., Garcia Chavez, J. R., & Matsumoto Kuwabara, Y. (2017). Analysis and evaluation of bioclimatic systems to characterize their in of experimental modules. *Energy Procedia*, 122, 1093–1098. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.439>
- Parsons, K. (2010). Thermal comfort in buildings. *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings*, 127–147. <https://doi.org/10.1533/9781845699277.1.127>
- Pennacchio, R., Savio, L., Bosia, D., Thiebat, F., Piccablotto, G., Patrucco, A., & Fantucci, S. (2017). Fitness: Sheep-wool and Hemp Sustainable Insulation Panels. *Energy Procedia*, 111(September 2016), 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.030>

- Ramos Martínez, E., OcupaFlorián, D., Molina Fuertes, J., Natividad Alvarado, J., & Espinoza Paredes, R. (2013). *Acondicionamiento térmico para edificaciones rurales altoandinas*.
- Reif, M., Zach, J., & Hroudová, J. (2016). Studying the Properties of Particulate Insulating Materials on Natural Basis. *Procedia Engineering*, 151, 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.390>
- Resnick, Halliday, K. (2001). *FISICA*. Compañía Editorial Continental.
- Serway, R. A., & Jewett, J. w. (2008). *Física para ciencias e ingeniería (Vol.1)*. Cengage Learning.
- Serway, R., & Vuille, C. (2013). *Fundamentos de la física (Vol. 1)*. <http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/FISICA/Fundamentos de física - Volumen 1 - Serway & Vuille - 9ed.pdf>
- Tahan Latibari, S., Mehrali, M., Mehrali, M., Indra Mahlia, T. M., & Cornelis Metselaar, H. S. (2013). Synthesis, characterization and thermal properties of nanoencapsulated phase change materials via sol-gel method. *Energy*, 61, 664–672. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.012>
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2001). *Física para la ciencia y la tecnología (Vol.1)*. Editorial Reverte.
- Tzikopoulos, A. F., Karatza, M. C., & Paravantis, J. A. (2007). *Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings*. 37(2005), 529–544. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.002>
- Volf, M., Diviš, J., & Havlík, F. (2015). Thermal, moisture and biological behaviour of natural insulating materials. *Energy Procedia*, 78, 1599–1604. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.219>
- Wilson, C., Buffa, F., & Lou, E. (2007). *Física*. Pearson Educación.
- Young, H., & Freedman, R. (2013). Movimiento rectilíneo. In *Física universitaria (Vol. 1)*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161%0Ahttp://cid.oxfordjournals.org/lookup/doi/10.1093/cid/cir991%0Ahttp://www.scielo.cl/pdf/udecada/v15n26/art06>.



pdf%0Ahttp://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861150233&partnerID=tZOtx3y1

Zach, J., Hroudová, J., Brožovský, J., Krejza, Z., & Gailius, A. (2013). Development of thermal insulating materials on natural base for thermal insulation systems. *Procedia Engineering*, 57, 1288–1294. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.162>

Zach, J., Slávik, R., & Novák, V. (2016). Investigation of the Process of Heat Transfer in the Structure of Thermal Insulation Materials Based on Natural Fibres. *Procedia Engineering*, 151, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.389>



## ANEXOS

Anexo 1. Tabla de datos

Tabla 13

*Base de datos tomados durante las horas diurnas y nocturnas. Temperaturas de HAT, HSAT, MA. Puno, 2020.*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>HAT Temp, °C</b>	<b>HSAT Temp, °C</b>	<b>MA Temp, °C</b>
2020-06-09 11:00:00	13.52	14.22	32.12
2020-06-09 11:20:00	14.98	14.74	22.80
2020-06-09 11:40:00	15.77	15.25	23.86
2020-06-09 12:00:00	16.61	15.65	26.28
2020-06-09 12:20:00	17.22	15.89	26.23
2020-06-09 12:40:00	16.89	16.11	27.48
2020-06-09 13:00:00	17.25	16.27	27.87
2020-06-09 13:20:00	17.37	16.37	25.79
2020-06-09 13:40:00	18.15	16.37	27.11
2020-06-09 14:00:00	17.80	16.30	28.27
2020-06-09 14:20:00	17.39	16.13	28.42
2020-06-09 14:40:00	17.20	15.89	28.10
2020-06-09 15:00:00	17.08	15.63	27.68
2020-06-09 15:20:00	16.87	15.37	27.97
2020-06-09 15:40:00	16.65	15.01	27.23
2020-06-09 16:00:00	16.42	14.62	27.83
2020-06-09 16:20:00	16.18	14.27	34.44
2020-06-09 16:40:00	15.91	13.86	33.26
2020-06-09 17:00:00	15.84	13.26	22.58
2020-06-09 17:20:00	15.65	12.51	17.18
2020-06-09 17:40:00	15.53	11.88	14.48
2020-06-09 18:00:00	15.39	11.35	13.16
2020-06-09 18:20:00	15.15	10.96	11.61
2020-06-09 18:40:00	14.89	10.64	10.54
2020-06-09 19:00:00	14.65	10.30	9.80
2020-06-09 19:20:00	14.46	10.05	8.99
2020-06-09 19:40:00	14.24	9.83	8.47
2020-06-09 20:00:00	14.05	9.58	8.22
2020-06-09 20:20:00	13.88	9.36	7.95
2020-06-09 20:40:00	13.71	9.21	7.44
2020-06-09 21:00:00	13.57	9.01	7.27
2020-06-09 21:20:00	13.43	8.92	7.27
2020-06-09 21:40:00	13.40	8.74	6.99
2020-06-09 22:00:00	13.28	8.62	6.69
2020-06-09 22:20:00	13.18	8.42	6.41
2020-06-09 22:40:00	13.09	8.24	6.26
2020-06-09 23:00:00	12.99	8.07	5.95
2020-06-09 23:20:00	12.92	7.82	5.41





2020-06-09 23:40:00	12.85	7.64	5.18
2020-06-10 00:00:00	12.77	7.44	4.71
2020-06-10 00:20:00	12.70	7.27	4.53
2020-06-10 00:40:00	12.68	7.12	4.19
2020-06-10 01:00:00	12.65	6.89	3.64
2020-06-10 01:20:00	12.61	6.76	3.59
2020-06-10 01:40:00	12.56	6.64	3.46
2020-06-10 02:00:00	12.46	6.51	3.27
2020-06-10 02:20:00	12.36	6.41	3.17
2020-06-10 02:40:00	12.29	6.23	2.98
2020-06-10 03:00:00	12.22	6.10	2.74
2020-06-10 03:20:00	12.10	5.97	2.69
2020-06-10 03:40:00	12.00	5.85	2.61
2020-06-10 04:00:00	11.93	5.77	2.58
2020-06-10 04:20:00	11.83	5.67	2.32
2020-06-10 04:40:00	11.73	5.57	2.18
2020-06-10 05:00:00	11.66	5.44	1.94
2020-06-10 05:20:00	11.59	5.28	1.59
2020-06-10 05:40:00	11.52	5.15	1.43
2020-06-10 06:00:00	11.49	5.05	1.26
2020-06-10 06:20:00	11.37	4.97	1.26
2020-06-10 06:40:00	11.27	5.15	2.16
2020-06-10 07:00:00	11.20	5.64	3.77
2020-06-10 07:20:00	11.18	6.28	6.08
2020-06-10 07:40:00	11.25	7.04	8.52
2020-06-10 08:00:00	11.39	7.79	10.59
2020-06-10 08:20:00	11.59	8.47	12.29
2020-06-10 08:40:00	11.59	9.14	14.10
2020-06-10 09:00:00	11.69	9.85	15.80
2020-06-10 09:20:00	11.76	10.61	18.08
2020-06-10 09:40:00	11.83	11.37	19.67
2020-06-10 10:00:00	11.98	12.00	20.91
2020-06-10 10:20:00	12.12	12.56	22.01
2020-06-10 10:40:00	12.27	13.21	23.91
2020-06-10 11:00:00	12.41	13.76	24.56
2020-06-10 11:20:00	12.58	14.17	25.21
2020-06-10 11:40:00	12.77	14.62	25.87
2020-06-10 12:00:00	12.94	14.96	26.82
2020-06-10 12:20:00	13.11	15.27	27.70
2020-06-10 12:40:00	13.28	15.53	27.65
2020-06-10 13:00:00	13.45	15.68	28.02
2020-06-10 13:20:00	13.59	15.77	28.62
2020-06-10 13:40:00	13.74	15.84	28.20
2020-06-10 14:00:00	13.86	15.75	28.79
2020-06-10 14:20:00	13.95	15.68	28.22
2020-06-10 14:40:00	14.03	15.51	28.34



2020-06-10 15:00:00	14.10	15.41	28.52
2020-06-10 15:20:00	14.12	15.15	28.42
2020-06-10 15:40:00	14.15	14.86	27.63
2020-06-10 16:00:00	14.12	14.53	22.44
2020-06-10 16:20:00	14.07	14.17	23.64
2020-06-10 16:40:00	14.00	13.76	21.77
2020-06-10 17:00:00	13.91	13.21	16.03
2020-06-10 17:20:00	13.81	12.58	13.52
2020-06-10 17:40:00	13.69	12.00	11.98
2020-06-10 18:00:00	13.55	11.42	11.10
2020-06-10 18:20:00	13.38	10.96	10.64
2020-06-10 18:40:00	13.23	10.49	10.12
2020-06-10 19:00:00	13.09	10.15	9.48
2020-06-10 19:20:00	12.92	9.78	9.01
2020-06-10 19:40:00	12.77	9.48	8.54
2020-06-10 20:00:00	12.63	9.19	8.05
2020-06-10 20:20:00	12.49	8.97	7.69
2020-06-10 20:40:00	12.34	8.77	7.34
2020-06-10 21:00:00	12.22	8.57	6.94
2020-06-10 21:20:00	12.15	8.42	6.76
2020-06-10 21:40:00	12.27	8.27	6.33
2020-06-10 22:00:00	12.24	8.14	5.97
2020-06-10 22:20:00	12.27	8.09	6.13
2020-06-10 22:40:00	12.27	8.09	6.15
2020-06-10 23:00:00	12.15	7.90	5.74
2020-06-10 23:20:00	12.07	7.74	5.41
2020-06-10 23:40:00	12.00	7.59	5.26
2020-06-11 00:00:00	11.93	7.44	4.87
2020-06-11 00:20:00	11.86	7.34	4.79
2020-06-11 00:40:00	11.78	7.14	4.40
2020-06-11 01:00:00	11.73	7.02	4.09
2020-06-11 01:20:00	11.69	6.89	4.01
2020-06-11 01:40:00	11.64	6.86	4.06
2020-06-11 02:00:00	11.59	6.81	3.88
2020-06-11 02:20:00	11.54	6.64	3.62
2020-06-11 02:40:00	11.49	6.53	3.49
2020-06-11 03:00:00	11.44	6.43	3.33
2020-06-11 03:20:00	11.39	6.31	3.19
2020-06-11 03:40:00	11.32	6.18	3.04
2020-06-11 04:00:00	11.25	6.08	2.90
2020-06-11 04:20:00	11.20	5.97	2.74
2020-06-11 04:40:00	11.10	5.85	2.53
2020-06-11 05:00:00	11.05	5.74	2.29
2020-06-11 05:20:00	11.00	5.51	1.78
2020-06-11 05:40:00	10.96	5.39	1.64
2020-06-11 06:00:00	10.93	5.23	1.26



2020-06-11 06:20:00	10.83	5.15	1.59
2020-06-11 06:40:00	10.71	5.39	2.61
2020-06-11 07:00:00	10.59	5.92	4.32
2020-06-11 07:20:00	10.69	6.53	6.20
2020-06-11 07:40:00	10.86	7.29	8.97
2020-06-11 08:00:00	11.08	8.12	11.49
2020-06-11 08:20:00	11.66	8.79	13.45
2020-06-11 08:40:00	11.86	9.44	15.25
2020-06-11 09:00:00	12.10	10.20	17.37
2020-06-11 09:20:00	12.39	11.03	19.41
2020-06-11 09:40:00	12.68	11.83	21.01
2020-06-11 10:00:00	13.02	12.44	22.37
2020-06-11 10:20:00	13.38	13.18	23.38
2020-06-11 10:40:00	13.74	13.83	24.46
2020-06-11 11:00:00	14.07	14.29	25.16
2020-06-11 11:20:00	14.41	14.79	26.40
2020-06-11 11:40:00	14.72	15.27	27.33
2020-06-11 12:00:00	15.03	15.60	28.05
2020-06-11 12:20:00	15.34	15.96	27.11
2020-06-11 12:40:00	15.58	16.22	24.80
2020-06-11 13:00:00	15.80	16.37	26.57
2020-06-11 13:20:00	15.96	16.46	26.79
2020-06-11 13:40:00	16.06	16.39	24.15
2020-06-11 14:00:00	16.13	16.27	23.38
2020-06-11 14:20:00	16.13	16.08	22.47
2020-06-11 14:40:00	16.08	15.80	21.15
2020-06-11 15:00:00	15.99	15.60	20.82
2020-06-11 15:20:00	15.84	15.29	19.96
2020-06-11 15:40:00	15.65	14.96	19.29
2020-06-11 16:00:00	15.44	14.60	19.32
2020-06-11 16:20:00	15.22	14.24	23.26
2020-06-11 16:40:00	15.01	13.81	22.35
2020-06-11 17:00:00	14.67	13.26	16.06
2020-06-11 17:20:00	14.29	12.49	13.81
2020-06-11 17:40:00	14.03	11.78	12.36
2020-06-11 18:00:00	14.00	11.18	11.27
2020-06-11 18:20:00	13.86	10.69	10.39
2020-06-11 18:40:00	13.76	10.30	9.76
2020-06-11 19:00:00	13.69	9.93	8.89
2020-06-11 19:20:00	13.59	9.68	8.24
2020-06-11 19:40:00	13.55	9.39	7.69
2020-06-11 20:00:00	13.57	9.16	7.34
2020-06-11 20:20:00	13.43	9.01	6.89
2020-06-11 20:40:00	13.31	8.84	6.53
2020-06-11 21:00:00	13.21	8.74	6.41
2020-06-11 21:20:00	13.11	8.67	6.36



2020-06-11 21:40:00	13.02	8.54	6.38
2020-06-11 22:00:00	12.97	8.34	5.72
2020-06-11 22:20:00	12.92	8.09	5.44
2020-06-11 22:40:00	12.87	7.90	5.23
2020-06-11 23:00:00	12.80	7.77	5.18
2020-06-11 23:20:00	12.77	7.62	4.71
2020-06-11 23:40:00	12.73	7.44	4.56
2020-06-12 00:00:00	12.61	7.34	4.56
2020-06-12 00:20:00	12.49	7.32	4.61
2020-06-12 00:40:00	12.39	7.12	4.06
2020-06-12 01:00:00	12.29	6.94	3.80
2020-06-12 01:20:00	12.19	6.79	3.64
2020-06-12 01:40:00	12.10	6.66	3.43
2020-06-12 02:00:00	12.03	6.56	3.30
2020-06-12 02:20:00	12.00	6.41	3.01
2020-06-12 02:40:00	12.05	6.23	2.72
2020-06-12 03:00:00	11.95	6.08	2.48
2020-06-12 03:20:00	11.93	6.03	2.69
2020-06-12 03:40:00	11.88	6.03	2.77
2020-06-12 04:00:00	11.86	5.95	2.66
2020-06-12 04:20:00	11.81	5.85	2.40
2020-06-12 04:40:00	11.71	5.64	1.97
2020-06-12 05:00:00	11.59	5.51	1.89
2020-06-12 05:20:00	11.47	5.41	1.67
2020-06-12 05:40:00	11.37	5.28	1.48
2020-06-12 06:00:00	11.25	5.15	1.29
2020-06-12 06:20:00	11.15	5.10	1.26
2020-06-12 06:40:00	11.08	5.23	2.10
2020-06-12 07:00:00	11.13	5.69	3.96
2020-06-12 07:20:00	11.20	6.31	5.97
2020-06-12 07:40:00	11.13	6.96	8.24
2020-06-12 08:00:00	11.10	7.74	10.32
2020-06-12 08:20:00	11.18	8.49	12.12
2020-06-12 08:40:00	11.25	9.19	14.43
2020-06-12 09:00:00	11.32	9.80	16.11
2020-06-12 09:20:00	11.76	10.49	17.46
2020-06-12 09:40:00	12.41	11.25	19.29
2020-06-12 10:00:00	12.82	11.98	21.17
2020-06-12 10:20:00	13.16	12.70	22.39
2020-06-12 10:40:00	13.47	13.38	24.15
2020-06-12 11:00:00	13.79	14.03	25.60

## Anexo 2. Figuras y fotografías de la metodología y resultados



*Figura 12.* Inicio de la construcción de la HAT



*Figura 13.* En esta imagen se aprecia el techado de la HAT



*Figura 14.* La HAT está listo para hacer revestimiento interior



*Figura 15.* Colocado de la k'esana al cielo raso dentro de la HAT



Figura 16. Enlucido del cielo raso y las paredes con yeso dentro de la HAT

RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
HAT	3891	49954.97819	12.8385963	2.96999163		
HSAT	3891	33749.32037	8.673688094	16.1765289		
MA	3891	38051.8662	9.779456747	79.2288379		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	36221.99269	2	18110.99635	552.302832	0	2.996501421
Dentro de los grupos	382680.1443	11670	32.79178614			
Total	418902.137	11672				

Figura 17. Resultados de ANOVA para la comparación de temperaturas



*Figura 18.* La imagen muestra la habitación térmica construida, lista para monitoreo de datos





Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo NATALIO MIRANDA RIVERA,  
identificado con DNI 01866073 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA AGRICOLA, CON MENCIÓN EN  
INGENIERIA AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“EVALUACION DEL CONFORT TERMICO DE UNA VIVIENDA DE ADOBE AISLADA  
TERMICAMENTE CON TOTORA EN LA PROVINCIA DE CHUCUITO – REGION PUNO”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso.

Puno 22 de enero del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo NATALIO MIRANDA RIVERA  
, identificado con DNI 01866073 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA AGRICOLA, CON MENCIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“EVALUACION DEL CONFORT TERMICO DE UNA VIVIENDA DE ADOBE AISLADA TERMICAMENTE CON TOTORA EN LA PROVINCIA DE CHUCUITO – REGION PUNO”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 22 de enero del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella